Elektro-technische BIBLIOTHEK

IX. BAND.

DIE GRUNDLEHREN
der
ELEKTRICITÄT
mit
besonderer Rücksicht
auf ihre
Anwendungen in der Praxis.

A. Hartleben's Verlag.
WIEN · PEST · LEIPZIG.

A. Hartleben's

Elektro-technische Bibliothek.

In reich illustr. Bänden, geh. à 1 fl. 65 kr. ö. W. = 3 Mark = 4 Fr. = 1 R. 80 Kop.; elegant gebunden à 2 fl. 20 kr. ö. W. = 4 Mark = 5 Fr. 35 Cts. = 2 R. 40 Kop.

I. Band. Die magnetelektrischen und dynamoelektrischen Maschinen und die sogenannten Secundär-Batterien, mit besonderer Rücksicht auf ihre Construction. 4. Aufl. Von Gustav Glaser-De Cew.

II. Band. Die elektrische Kraftübertragung und ihre Anwendung in der Praxis, mit besonderer Rücksicht auf die Fortleitung und Vertheilung des elektrischen Stromes. 2. Aufl. Von Eduard Japing.

III. Band. Das elektrische Licht. 2. Aufl. Von Dr. A. von Urbanitzky.

IV. Band. Die galvanischen Batterien, mit besonderer Rücksicht auf ihre Construction und ihre mannigfaltigen Anwendungen in der Praxis. 2. Aufl. Von Wilh. Ph. Hauck.

V. Band. Die Verkehrs-Telegraphie der Gegenwart, mit besonderer Rücksicht auf die Bedürfnisse der Praxis. Von J. Sack.

VI. Band. Telephon, Mikrophon und Radiophon, mit besonderer Rücksicht auf ihre Anwend. in der Praxis. 2. Aufl. Von Theodor Schwartze.

VII. Band. Elektrolyse, Galvanoplastik und Reinmetall-Gewinnung, mit besonderer Rücksicht auf die Bedürfnisse der Praxis. V. Eduard Japing.

VIII. Band. Die elektrischen Mess- und Präcisions-Instrumente, sowie die Instrumente zum Studium der statischen Elektricität, mit besonderer Rücksicht auf ihre Construction. Von A. Wilke.

IX. Band. Die Grundlehren der Elektricität, mit besonderer Rücksicht auf ihre Anwendungen in der Praxis. Von Wilh. Ph. Hauck.

X. Band. Elektrisches Formelbuch mit einem Anhange, enthaltend die elektrische Terminologie in deutscher, französischer und englischer Sprache. Von Prof. Dr. P. Zech.

XI. Band. Die elektrischen Beleuchtungs-Anlagen. 2. Aufl. Von Dr. A. von Urbanitzky.

XII. Band. Die elektrischen Einrichtungen der Eisenbahnen und das Signalwesen. Von L. Kohlfürst.

XIII. Band. Die elektrischen Uhren und Die elektrische Feuerwehr-Telegraphie. Von Prof. Dr. A. Tobler.

XIV. Band. Haus- und Hôtel-Telegraphie. Von O. Canter.

XV. Band. Die Anwendung der Elektricität für militärische Zwecke. Von Dr. Fr. Waechter.

XVI. Band. Die elektrischen Leitungen und ihre Anlage für alle Zwecke der Praxis. Von J. Zacharias.

XVII. Band. Die elektrische Eisenbahn bezüglich ihres Baues und Betriebes. Von Josef Krämer.

XVIII. Band. Die Elektrotechnik in der Heilkunde. Von Prof. Dr. Rud. Lewandowski.

XIX. Band. Die Spannungs-Elektricität und ihre technischen Anwendungen. Von Prof. K. W. Zenger.

XX. Band. Die Welt-Literatur der elektro-technischen Wissenschaft, 1860 bis 1883. Mit einem Sachregister. Von Gustav May. — u. s. w. u. s. w.

Jeder Band ist für sich vollkommen abgeschlossen und einzeln käuflich.
Die Sammlung kann auch in Lieferungen à 30 kr. ö. W. = 60 Pf. = 80 Cts. = 36 Kop. bezogen werden.
Einzelne Werke werden nur in der Bandausgabe abgegeben.

A. Hartleben's Verlag in Wien, Pest und Leipzig.

Alexander Volta.

DIE GRUNDLEHREN

der

ELEKTRICITÄT

mit besonderer Rücksicht

auf ihre Anwendungen in der Praxis.

Von

W. Ph. Hauck.

BIBLIOTHECA REGIA MONACENSIS

Mit 83 Abbildungen.

WIEN. PEST. LEIPZIG.

A. HARTLEBEN'S VERLAG.

1883.

G. n. 1831

Alle Rechte vorbehalten.

K. k. Hofbuchdruckerei Carl Fromme in Wien.

Vorwort.

Die Grundlehren der Elektricität, mit besonderer Rücksicht auf die Bedürfnisse der Praxis, wollte der Verfasser im vorliegenden Werke geben und er ging mit freudigem Muth an seine Arbeit. Je mehr sich dieselbe aber ihrem Abschluss und Ende näherte oder vielmehr je kleiner der Raum wurde, welcher noch zur Verfügung stand, desto mehr tauchte die Befürchtung auf, es werde nicht möglich sein, den überaus reichen Stoff in den engen Rahmen zu drängen.

Und da es nun endlich doch geschehen ist, bekennt der Verfasser aufrichtig, dass er leider Vieles, freilich meist nicht unumgänglich nothwendig Scheinendes, ausschliessen musste — Ursache genug, von manchem der geschätzten Leser den Vorwurf erwarten zu dürfen: das Gebotene sei lückenhaft.

Vielleicht wird auch der Vorwurf gemacht werden, der Stoff sei nicht gleichmässig ausgearbeitet; darauf erlaubt sich der Verfasser im voraus zu erwiedern, dass blos andeutungsweise alles das besprochen wurde, was ausführlicher in den anderen Bänden der Sammlung enthalten ist, aber dennoch immer so weit, damit das dort Gegebene auf Grundlage des vorliegenden Werkes verständlich wird.

Eingehender und vollständiger ist das gegeben, was zu besprechen dem IX. Band allein zugefallen ist, zu berücksichtigen bleibt noch dabei, dass ein specieller Band über Spannungs-Elektricität in Aussicht steht.

Einiges wäre noch über die Eintheilung des Stoffes zu sagen, sie wird wohl aus dem Inhaltsverzeichniss klar, und zu bemerken bleibt nur, dass von einer ausdrücklichen Unterscheidung von Reibungs- und Contact-Elektricität abgesehen wurde — ein Verfahren, das wohl keiner weiteren Begründung bedarf.

Der Verfasser war bemüht, nach Möglichkeit auch das Neueste einzubeziehen, auf Anwendung der Gesetze in der Praxis und auf die Quellen, welche ein eingehendes Studium einzelner Fragen gestatten, hinzuweisen.

Benutzt wurden ausser den Fachzeitschriften, Wiedemann's Lehre von der Elektricität, Müller-Pfaundler's Lehrbuch der Physik, die Uebersetzung des Lehrbuches von Maxwell; ferner Werke von Dub, Schellen-Kareis, Exner und kleinere Publicationen, die im Texte erwähnt sind.

Wenn dieses Werk trotz seiner vermeintlichen Schwächen seine Leser wenigstens theilweise befriedigt, so sind die Wünsche erfüllt, welche ihm auf den Weg mitgiebt sein Verfasser

W. Ph. Hauck.

Inhalt.

Seite

Vorwort VII
Inhalt IX
Illustrations-Verzeichniss XI
Elektrische Einheiten XIV
Verhalten elektrischer Körper 1
Die zwei Arten der Elektricität 2
Das Wesen der Elektricität (Elektricitätsmenge) 4
Fernwirkung der Elektricität (elektrische Dichte, Niveauflächen, elektrisches Feld, Potential, Zeichen des Potentiales, Kraftlinien) 7
Anordnung der Elektricität auf der Oberfläche eines isolirten Leiters (Spannung, Capacität, Beziehungen zwischen Dichte und Potential, ihre Veränderungen 13
Elektromotorische Kraft, Entladung Elektricitätsleitung, Elektricitätsleiter, Halbleiter, Isolatoren 15
Vertheilung, Influenz (Condensatoren Accumulatoren) 19
Elektrisirmaschinen (Dampf-Elektrisirmaschine) 23
Accumulatoren, Condensatoren und ihre Capacität, Bindungs- und Verstärkungszahl 29
Disruptive Entladung, der elektrische Funke 34
Convective Entladung 35
Leydener Flasche, Condensatoren (Rückstand, Residuum, Massflasche) 36
Wirkungen der elektrischen Entladung (Wärme-Erzeugung, Zersetzung des Leiters, Magnetisirung, Dauer des elektrischen Funkens) 43
Anwendungen der elektrischen Influenzwirkung, Elektrophor, Elektrophormaschine, Influenz-Elektrisirmaschine, Condensator, Duplicator 50
Volta's Fundamental-Versuch (Spannungsreihe) 64
Erklärung des Fundamentalversuches 67
Elektricitätserregung zwischen festen Körpern und Flüssigkeiten 72
Galvani's Entdeckung 76
Theorie der Elektricitätserregung bei Berührung von Metallen mit Flüssigkeiten 81
Abnahme der Stromentwicklung, Polarisation Vernichtung der Polarisation 89

Seite

Leitung des galvanischen Stromes (Leitungsfähigkeit, Einfluss der Temperatur, Gleichheit des Stromes an den verschiedenen Stellen des Stromkreises, Ohm'sches Gesetz, Stromverzweigung, Ladungszeit der Leiter) 97

Einwirkung des Stromes auf den Leiter (feste Leiter, Erwärmung, Joule'sches Gesetz, Glühen der Leiter, Volta-Bogen; flüssige Leiter, elektrische Endosmose, Elektrolyse, Polarisation, Wanderung der Jonen) 127

Wirkungen stromdurchflossener Leiter in die Ferne (Verhalten eines beweglichen Leiters, Wirkungen zweier Leiter aufeiander, auf Stahl und Eisenstäbe) 154

Gesetze, nach welchen die Magnetisirung eines Eisenstabes erfolgt 174

Remanenter Magnetismus, Permanente oder Stahlmagnete (Vertheilung des Magnetismus, Tragkraft, Abhängigkeit von der Gestalt, Hufeisenmagnete, Federmagnete, Magnetmagazin) 182

Elektromagnete (Einfluss des Widerstandes der Spirale, des Verhältnisses zwischen der Dicke der Spule zur Dicke des Kernes, der Länge des Eisenkernes, verschiedene Anordnungen der Draht- und Eisenmassen) 192

Wirkung eines stromdurchflossenen Leiters auf einen Magnet (magnetische Wirkung eines Kreisstromes auf ein magnetisches Theilchen, Wirkung eines stromdurchflossenen Leiters auf Magnet- und Eisenstäbe [Solenoidanziehung]) 207

Ablenkung der Magnetnadel (Tangentenbussole Sinusbussole) . 214

Magneto-Induction (Erklärung mit Hilfe der Kraftlinien (Schirmwirkung) 223

Volta-Induction (Inductoren, Extraströme) 231

Thermo-Elektricität (Einfluss des Wärmegrades, Theorie der Thermo-Elektricität, thermo-elektrische Ströme zwischen tropfbaren und gasförmigen Stoffen, Peltier's Versuch) . . 246

Schlusswort 259

Tafeln: Leitungsfähigkeit fester Körper für Elektricität 262. — Aenderungen mit der Temperatur 262. — Specifische Widerstände bei 0 Grad bestimmt von Matthiessen 263. — Aus Wiedemann's Elektricitätslehre 264—265. — Leitungsfähigkeit verschiedener Flüssigkeiten nach Messungen von F. Kohlrausch und Grotrian bei 18 Grad unter der Annahme, dass die des Quecksilbers eine 18^8fache sei 266 bis 269. — Zusammenstellung der bestleitenden Flüssigkeiten nach Untersuchungen von F. Kohlrausch 270—271. —

Namens-Verzeichniss 272

Index 273

Illustrations-Verzeichniss.

Titelbild: Porträt Alexander Volta.

Fig.		Seite
1.	Elektrisches Pendel	1
2.	Vertheilungs-Apparat	20
3.	Elektrisirmaschine	24
4.	Condensator	31
5.	Leydener Flasche	38
6.	Flaschenbatterie, Lane's Massflasche	41
7.	Wheatstone's Apparat zur Messung der Funkendauer	48
8.	Elektrophor	51
9.	Töpler's Influenz-Elektrisirmaschine (Schema)	54
10.	Holtz' Influenz-Elektrisirmaschine (Schema)	56
11.	Holtz' Influenz-Elektrisirmaschine (Schema) mit Diametralsauger	58
12.	Töpler-Holtz' Influenz-Elektrisirmaschine	60
13.	Elektroskop, Condensator, Duplicator	63
14.	Graphische Darstellung der Potentialdifferenz zwischen Zink und Kupfer etc. etc.	74
15.	Graphische Darstellung der Potentialdifferenz zwischen Zink, Säure, Kupfer etc.	75
16.	Zersetzung von Chlorwasserstoff durch den Strom	83
17.	Schema der Stromverzweigung	119
18.	Schema der Stromverzweigung	121
19.	Schema der Stromverzweigung	122
20.	Ampère-Apparat, die Wirkung eines stromdurchflossenen Leiters in die Ferne zu zeigen	154
21.	Solenoid	155
22.	Anziehung zweier Ströme	158

Fig.		Seite
23.	Anziehung zweier Ströme, Drehung des Leiters durch dieselbe	159
24.	Anziehung zweier Ströme, Drehung des Leiters durch dieselbe	160
25.	Abstossende Wirkung eines stromdurchflossenen Leiters auf sich selbst	161
26. 27. 28. 29.	Wirkungen stromdurchflossener Leiter in die Ferne	163
30. 31.	Wirkung eines Magnets auf einen stromdurchflossenen Leiter	165
32.	Wirkung eines Magnets auf einen stromdurchflossenen Leiter, Drehung desselben	167
33.	Hefner-Alteneck's Wicklung	169
34. 35.	Rotation der Gramme'schen Wicklung mit und ohne Kern unter Einfluss eines Magnets	170
36.	Rotation eines Leiters um einen Magnetpol	172
37. 38.	Rotation eines Leiters um eine Spirale	173
39.	Magnetstab mit Folgepunkten	186
40.	Hufeisenmagnet-Magazin	188
41.	Magnetstabmagazin	189
42.	Jamin's Federmagnet	190
43. 44.	Elektromagnetformen	201
45.	Glockenelektromagnet	204
46.	Magnet. Wirkung eines Kreisstromes auf ein Magnettheilchen	205
47. 48. 49. 50.	Wirkungen einer stromdurchflossenen Spirale auf einen Magnetstab	208
51. 52.	Wirkungen einer stromdurchflossenen Spirale auf einen Eisenstab	209
53. 54.	Wirkungen einer stromdurchflossenen Spirale auf hufeisenförmige Stäbe	211
55.	Elektromagnet nach Dub und Romershausen	211
56.	Verhalten zweier Eisenstäbe in einer stromdurchflossenen Spirale	212

Fig. Seite
57. Křižiks Solenoidkernformen 213
58. Oersted's Fundamentalversuch 215
59. Astatisches Gehänge (Schema) 216
60. Tangentenbussole 218
61. Tangentenbussole (Schema) 222
62.
63. Induction (Schema) durch Magnete 224
64.
65. Gramme'scher Ring 226
66. Magnetische Curven 228
67. Kraftlinien zwischen zwei gleichen Polen 229
68. Kraftlinien zwischen zwei entgegengesetzten Polen . . . 229
69.
70. Schirmwirkung eines Eisenringes 230
71. Volta-Induction (Schema des Stromlaufes in den beiden
72. Spiralen) 232
73.
74. Schema der verschiedenen Schaltungen bei Erzeugung
75. von Extraströmen 234
76. Funken-Inductor 237
77. Henry's Bandspiralen zur Erzeugung höherer Inductions-
ströme 241
78. Diagramm von Inductionsströmen I. bis IV. Ordnung . . . 242
79. Eine Magnetnadel vor einem Leiter (Dämpfung) 244
80. Thermo-elektrischer Grundversuch 248
81. Thermo-Element 251

Elektrische Einheiten.

Mass-Einheiten, welche zu elektrischen Messungen dienen.

I. Die absoluten oder C. G. S. (Centimeter-Gramm-Secunde-) Einheiten.

1. Längeneinheit: 1 Centimeter.

2. Zeiteinheit: 1 Secunde.

3. Krafteinheit. Die Krafteinheit ist diejenige Kraft, welche für eine Secunde lang auf eine frei bewegliche Masse von dem Gewichte eines Grammes wirkend, dieser Masse eine Geschwindigkeit von 1 Centimeter per Secunde verleiht.

4. Die Arbeitseinheit ist die Arbeit, welche von der Krafteinheit verrichtet wird, wenn dieselbe die Entfernung von 1 Centimeter zurücklegt. Diese Einheit ist in Paris = 0·00101915 Centimeter-Gramm, oder mit andern Worten, um das Gewicht eines Grammes einen Centimeter hoch zu heben, sind 980.868 Krafteinheiten nöthig.

5. Die Einheit der elektrischen Quantität ist diejenige Quantität von Elektricität, welche auf eine gleich grosse Quantität, die einen Centimeter weit entfernt ist, eine Kraft gleich der Krafteinheit ausübt.

6. Die Einheit des Potentials oder der elektromotorischen Kraft existirt zwischen zwei Punkten, wenn die Einheit der elektrischen Quantität bei ihrer Bewegung von dem einen Punkte zum andern die Krafteinheit gebraucht, um die elektrische Abstossung zu überwinden.

7. Die Widerstandseinheit ist die Einheit, welche nur einer Quantitätseinheit den Uebergang zwischen zwei Punkten, zwischen welchen die Potentialeinheit existirt, in einer Secunde gestattet.

II. Die sogenannten praktischen Einheiten für elektrische Messungen.

1.	Weber,	Einheit der	magnetischen Quantität	$= 10^8$	C. G. S. Einheiten
2.	Ohm, [1])	»	des Widerstandes	$= 10^9$	» »
3.	Volt, [2])	»	der elektromotor. Kraft	$= 10^8$	» »
4.	Ampère, [3])	»	» Stromstärke	$= 10^{-1}$	» »
5.	Coulom, b [4])	»	» Quantität	$= 10^{-1}$	» »
6.	Watt [5])	»	» Kraft	$= 10^7$	» »
7.	Farad,	»	» Capacität	$= 10^{-9}$	» »

[1]) 1 Ohm ist gleich 1·0493 Siem. Einh. und etwa gleich dem Widerstande von 48·5 Meter reinen Kupferdrahtes von einem Durchmesser von 1 Mm. bei einer Temperatur von 0° Celsius.

[2]) Ein Volt ist 5—10% weniger als die elektromotorische Kraft eines Daniell'schen Elementes.

[3]) Der Strom, welcher durch die elektromotorische Krafteinheit die Widerstandseinheit in einer Secunde zu durchfliessen im Stande ist, ist = 1 Amp.

[4]) Coulomb heisst jene Quantität der Elektricität, welche per Secunde ein Ampère giebt.

[5]) 1 Watt = Ampère × Volt. 1 H. P. (horse power) $= \frac{\text{Amp.} \times \text{Volt}}{746}$

1 Cheval de vapeur $= \frac{\text{Amp.} \times \text{Volt.}}{735}$ = P. S. (Pferdestärke.)

Widerstandseinheiten.*)

Name der Einheit	CS^{-1}	Ohm	Siemens	Deutsche Meile Draht 4 mm.	Franz. Meile Draht 7 mm.	Engl. Meile Kupferdr. 1·6 mm.
CS^{-1}	1	10^{-9}	$1{,}05 . 10^{-9}$	$18 . 10^{-12}$	$105 . 10^{-12}$	$74 . 10^{12}$
Ohm	10^9	1	1,05	0,018	0,105	0,074
Siemens	$95 . 10^7$	0,95	1	0,017	0,1	0,071
Deutsche Meile	$57 . 10^9$	57	60	1	6	4,26
Franz. Meile	$95 . 10^8$	9,5	10	0,17	1	0 71
Engl. Meile	$13414 . 10^6$	13,414	14,12	0,235	1,41	1

Stromeinheiten.*)

Name der Einheit	CGS	Ampère	Daniell-Siemens	Jacobi per Min.	Silber mg. per Min.	Engl. mg. per Min.
CGS	1	10	8·5	105·2	676·5	198·6
Ampère	0·1	1	0·85	10·52	67·65	19·86
Daniell : Siemens	0·117	1·17	1	12·31	78·95	23·23
Jacobi	0·958	0·095	0·082	1	6·4	1·89
Silber mg.	0·148	0·015	0·013	0·156	1	0·294
Kupfer mg.	0·502	0·05	0·043	0·529	3·41	1

*) Uppenborn, IV. B. 7.

Ausser den von W. Thomson vorgeschlagenen und vom Pariser Congress angenommenen Centimeter-Gramm-Secunde — (C. G. S.) Einheiten stehen noch im Gebrauch: die von der British Association (B. A.) benutzten Meter-Gramm-Secunde (M. G. S.) Einheiten und die von Gauss-Weber angegebenen Millimeter-Milligramm-Secunde (M. M. S.) Einheiten; wir bringen nachstehend eine übersichtliche Zusammenstellung, welche auch die Unterabtheilungen enthält.

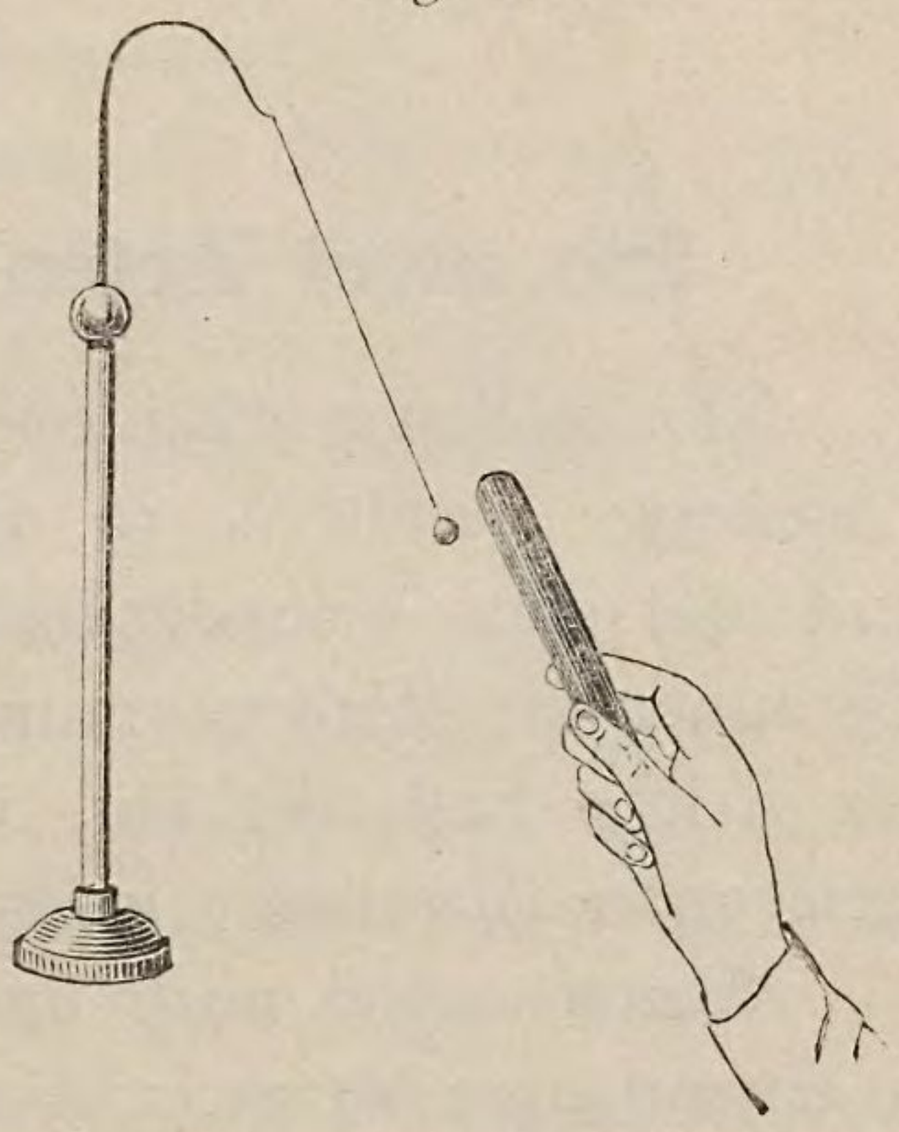
Bezeichnung der elektrischen Masseinheiten.	C. G. S.	M. G. S.	M. M. S.	Willkürl. E.
Widerstand.				
Megohm	10^{15}	10^{13}	10^{16}	
Ohm	10^{9}	10^{7}	10^{10}	1·0493 S. E.
Mikrohm	10^{3}	10	10^{4}	
Elektromotorische Kraft.				
Megavolt	10^{14}	10^{11}	10^{17}	
Volt (Volta)	10^{8}	10^{5}	10^{11}	0·9 D. E.
Mikrovolt	10^{2}	10^{-1}	10^{4}	
Stromstärke.				
Megoampère	10^{5}	10^{4}	10^{7}	
Ampère Farad per Secunde	10^{-1}	10^{-2}	10	10·5 Jacobi E.
Mikroampère	10^{-7}	10^{-8}	10^{-5}	
Capacität.				
Farad (Faraday)	10^{-9}	10^{-7}	10^{-10}	
Mikrofarad	10^{-15}	10^{-13}	10^{-16}	

BIBLIOTHECA REGIA MONACENSIS

Verhalten elektrischer Körper.

Der Name Elektricität stammt von dem Worte „Elektron" (die griechische Bezeichnung für Bernstein), an welchem Stoffe, und zwar vor mehr als 2000 Jahren, die Beobachtung gemacht wurde, dass er gerieben befähigt werde, leichte Körperchen aus einiger Entfernung anzuziehen. Die Einführung des Namens erfolgte jedoch erst um das Jahr 1600 durch den englischen Gelehrten W. Gilbert. Ausser der genannten Erscheinung, welche eintritt, nicht blos wenn Bernstein gerieben wird, sondern auch dann, wenn man irgend ein Harz, Glas oder Schwefel benutzt, können wir die weitere wahrnehmen, dass eine Abstossung der angezogenen Körperchen erfolgt, sobald diese mit dem Elektricitätserreger in Berührung waren.

Fig. 1.



Um hierüber genauere Beobachtungen anzustellen, wollen wir eine kleine Kugel aus Pflanzenmark an einem zarten Seidenfaden aufhängen und ihr eine geriebene Harzstange nähern (Fig. 1).

Das kleine Pendel wird sofort angezogen, bleibt einen Augenblick an dem Stabe hängen und flieht sodann denselben.

Nähern wir dem Kügelchen ein zweites, das noch mit keiner Elektricitätsquelle in Berührung war, so wird es von dem ersteren angezogen.

Wir können aus diesem Verhalten den Schluss ziehen, dass durch die Berührung mit dem Harzstab in das Kügelchen Elektricität übergegangen war, dass sich also Elektricität durch Berührung mittheilen lässt.

Die zwei Arten der Elektricität.

Nun wollen wir beide Pendelchen mit der geriebenen Harzstange berühren, so dass sie also Beide elektrisch sind und dann einander nähern; wir machen zu unserem Erstaunen die Wahrnehmung, dass sich beide abstossen; der gleiche Fall tritt ein, wenn beide früher mit einer geriebenen Glasstange in Berührung waren.

Weitere zwei noch unelektrische Pendel sollen uns zu einemneuen Versuche dienen. Wir laden das eine — so nennt man das Mittheilen des elektrischen Zustandes in diesem Falle — mit der geriebenen Glasstange, das andere mit der geriebenen Harzstange und nähern sie sodann einander wie zuvor; statt sich aber abzustossen, ziehen sich jetzt die Kügelchen an, bis sie miteinander in Berührung kommen.

Da beidemale die Pendel gegen ihre Elektricitätsquelle das gleiche Verhalten gezeigt hatten, jedes also in den Zustand gerathen war, welchen wir den elektri-

schen genannt haben, so muss die Art der Elektricität, welche die Glasstange hervorbringt, verschieden sein von jener, welche die Harzstange liefert, denn sonst müssten sich ja nach dem vorigen Versuche beide Kügelchen abstossen.

Wir kommen so zu dem gewiss berechtigten Schlusse, dass es zweierlei Elektricitäten giebt, und zwar blos zweierlei, wie ein Vertausch der Elektricitätsquellen (Reibzeug und geriebene Stange) lehren würde, und dass alle Körper, welche gleichartig elektrisch sind, sich abstossen, während die ungleichartig elektrischen einander anziehen.

Man ist übereingekommen, die Elektricität, welche durch Reiben der Glasstange erzeugt wird, positiv (+), jene, welche die Harzstange liefert, negativ (—) zu nennen, wir wollen auch in Hinkunft diese Bezeichnung gebrauchen.

Eine unserer Elektricitätsquellen bestand bis jetzt aus einer Glasstange und einem Stückchen Leder, das mit Amalgam [1]) bestrichen war. Dieses unser Instrument wollen wir nun dadurch vollkommener machen, dass wir das Leder (Reibzeug) nicht mehr unmittelbar in die Hand nehmen, sondern selbes in eine Glasröhre stecken.

Haben wir einige Zeit gerieben und nähern sodann das Reibzeug einem Pendelchen, so bemerken wir, dass dieses angezogen wird, dass also auch das Reibzeug elektrisch geworden ist. Vollführen wir das gleiche mit

---

[1]) Amalgam wird bereitet, indem man 1 Gewichtstheil Zink, 1 Gewichtstheil Zinn, 2 Gewichtstheile Quecksilber zusammenschmilzt und das erhaltene Gemisch sodann fein pulvert. Indem man das Leder mit etwas Fett bestreicht und das Pulver mit einem Kork anreibt, bekommt man eine fest haftende Metallschicht.

der Glasstange und einem zweiten Pendelchen und nähern sodann die beiden elektrisirten Kugeln, so finden wir, dass diese sich anziehen.

Wir sehen also, dass durch Reiben der Glasstange sowohl negative Elektricität im Reibzeug, als auch positive, die an der Glasstange haftet, entwickelt wird. Aehnliches können wir bei allen Elektricitätserregungen nachweisen und dürfen daher annehmen, dass in allen diesen Fällen sowohl positive als auch negative Elektricität in den verwendeten Stoffen vorhanden sei und dass beide Elektricitäten zu gleicher Zeit auftreten.

Das Wesen der Elektricität.

Elektricitätsmenge.

Nachdem wir die Erzeugungsweise und einige Eigenschaften der Elektricität kennen gelernt haben, wäre es an der Zeit, etwas über das Wesen derselben zu sagen, leider ist uns selbes fast so gut wie unbekannt.,

Den Anschauungen der Neuzeit über die sogenannten Naturkräfte entsprechend, können wir zwar auch annehmen, dass die Elektricität eine Bewegungsform des Aethers oder der kleinsten Körpertheile (Moleküle) sei — eine Annahme, welche noch durch den Umstand unterstützt wird, dass sich sowohl mechanische Kraft, als auch Licht und Wärme, die ja auch Bewegungen sind, in Elektricität umwandeln lassen..

Leider gelingt es noch nicht, alle Erscheinungen auf Grund dieser Annahme zu erklären, und müssen wir uns daher mit der älteren Anschauung über das Wesen

der Elektricität begnügen, die oft auch zum besseren Verständniss beiträgt. Der positiven und negativen Elektricität entsprechend besteht daher die Annahme, dass es zwei unsichtbare, unelastische und gewichtslose Stoffe giebt, denen man die Bezeichnung Fluida unterlegt, welche die Eigenschaft besitzen, dass sich einzelne Theile jeder Gattung abstossen, die Theile der zwei verschiedenen Arten sich aber anziehen.

Nach dieser Vorstellungsweise, welche die dualistische heisst und die wir Symmer, der sie 1759 ersonnen hat, verdanken, ist ein Körper unelektrisch, wenn er von jeder Art der Fluida gleiche Mengen enthält, wird aber positiv oder negativ elektrisch, wenn eine der beiden Arten überwiegt.

Wir kommen so dazu, den Grad, in welchem ein elektrischer Körper Kraftwirkungen äussert, einer grösseren oder geringeren Menge vorhandener elektrischer Materie zuzuschreiben und von Elektricitätsmenge zu sprechen.

Umgekehrt müssen wir daher, um von einer Einheit der Menge sprechen zu können, eine Einheit der Kraftwirkung aufstellen, diese ist uns gegeben aus der Annahme, welche in der Mechanik für die Krafteinheit gemacht wird, dass dieselbe im Stande sein muss, der Masseneinheit in der Zeiteinheit eine solche Geschwindigkeit zu ertheilen, dass sie den Weg eins zurücklegt.

Auf Grund des metrischen Masssystemes und unter der Annahme der Secunde als Zeiteinheit wird die Einheit der Kraft jene sein, welche die Masse eines Kubikcentimeters Wasser (1 Gramm) in der Secunde um 1 Cm. fortbewegt.

Die Anziehungskraft der Erde veranlasst die Masseneinheit, einen Weg von 9·81 Metern in der Secunde zurückzulegen, wirkt also mit 981 Einheiten.

Diejenige Elektricitätsmenge nun, welche auf eine zweite gleichgrosse, in der Entfernung eines Centimeters wirkende, derselben den 981. Theil der Geschwindigkeit ertheilt, welche die Masseneinheit durch die Erdanziehung erlangt, wäre somit die Einheit der Elektricitätsmenge. Diese Einheit ist aber für gewöhnliche Verhältnisse noch viel zu gross, sie steht daher zur gebräuchlichen, dem Coulomb, in einem Verhältniss wie etwa 300 Cb.-M. zu 1 Cb.-Mm.

Eine noch ältere, jetzt aber schon ziemlich aufgegebene Anschauung, die von Franklin und Aepinus vertheidigt wurde, gipfelt darin, dass es überhaupt nur ein elektrisches Fluidum, die elektrische Materie, giebt, von welchem jeder Körper eine gewisse Menge enthält, sobald er sich in unelektrischem Zustande befindet. Ihre Anhänger werden mit dem Namen Unitarier belegt.

Wird die elektrische Materie vermehrt, so geräth der Körper in den positiv-elektrischen Zustand, sinkt sein Gehalt unter das ihm zukommende Mass, so wird er negativ elektrisch, dabei haben die einzelnen Theilchen derselben die Eigenschaft, einander abzustossen, die fernere aber, von den Körpertheilchen angezogen zu werden.

Die elektrische Materie soll dabei die weitere Eigenthümlichkeit besitzen, wohl in Metalle, aber nicht in Glas, Harz etc. eindringen, sondern nur an der Oberfläche haften zu können. Dieser Anschauung zufolge geht bei dem Reiben der Glasstange elektrische Materie aus dem Reibzeug auf das Glas über.

Fernwirkung der Elektricität.

Nach dieser kurzen Abschweifung kehren wir zu unserem Pendel zurück und nähern demselben einen elektrisirten Körper. Dabei können wir die Wahrnehmung machen, dass es schon in grösserer Entfernung angezogen wird und dass die Anziehung erfolgt, welcher Stelle der Oberfläche wir auch dasselbe nähern — ein Zeichen, dass sich die Elektricität über die ganze Oberfläche ausgebreitet habe. Ist der elektrisirte Körper eine Kugel, so werden wir finden, dass die Schwere des Pendels in überall gleicher Entfernung von der Oberfläche der Kugel überwunden wird, hat er eine andere Gestalt, so wird, wie uns der Augenschein lehrt, der Abstand bald ein grösserer oder geringerer sein müssen, um dieselbe Anziehungskraft zu erzielen.

Bei unseren Versuchen mit den Pendelchen machten wir ganz leicht die Beobachtung, dass die geäusserte Kraft mit der Entfernung abnehme. Coulomb verdanken wir die Erforschung des Gesetzes, nach welchem diese Abnahme stattfindet; es würde uns zu weit führen, seine oder überhaupt einen der nach dieser Richtung zielenden Versuche anzuführen, es möge genügen, dass die Forschungen ergaben:

Die Kräfte der elektrischen Anziehung oder Abstossung der aufeinanderwirkenden Elektricitätsmengen verhalten sich umgekehrt proportional dem Quadrate der Entfernungen.

Dass die Kraftäusserung auch von der Dichte abhängt, ist wohl selbstverständlich, und es wurde auch von dem obengenannten Physiker nachgewiesen, dass sich die elektrischen Anziehungen und Abstos-

sungen verhalten wie die Dichten der aufeinanderwirkenden Elektricitäten.

Auf der elektrischen Anziehung und Abstossung beruhen verschiedene Mess-Apparate, die insgemein die Namen Drehwagen, Elektroskope oder Elektrometer tragen.

Elektrische Dichte.

Wie wir oben erfahren haben und auch unschwer zu begreifen ist, hängt die Stärke der Anziehung von der Menge der auf gleichen Theilen der Oberfläche etwa auf je einem □Cm. vorhandenen Elektricität oder der elektrischen Dichte ab. Während die Dichte auf einer Kugel überall gleich ist, zeigt ein Ellipsoid, dass an den Stellen von geringeren Krümmungshalbmessern die Dichte grösser ist; läuft ein Körper in eine Spitze aus, so herrscht an derselben die grösste elektrische Dichte.

So überraschend dieser Umstand im ersten Augenblick zu sein scheint, so leicht verständlich ist er, wenn man bedenkt, dass — den Gleichgewichtszustand vorausgesetzt — die elektrischen Theilchen der Spitze auf ein zwischen ihr und dem anderen Ende des Körpers liegendes dieselbe Abstossung ausüben müssen, als die des übrigen Körpers, was aber nur dann der Fall sein kann, wenn auf dem engen Raume eine grössere Elektricitätsmenge vorhanden ist.

Niveauflächen.

Wenn wir alle jene Punkte im Raume, in welchem die Schwerkraft von der elektrischen Anziehung überwunden wird, die daher gleiche Kraft auf unser Pendel ausüben, verbinden, so bekommen wir eine den elektri-

schen Körper einhüllende Fläche, die man in Bezug auf die Kraft, welche ihre Punkte z. B. auf unser Pendel ausüben, eine Niveaufläche derselben nennt.

Elektrisches Feld.

Stellen wir den Versuch mit Pendeln von verschiedener Schwere an, so werden wir finden, dass die Niveauflächen dementsprechend einen grösseren oder geringeren Abstand von unserem Körper haben.

Wenn wir den Raum, der einen elektrischen Körper umgiebt, so eintheilen, dass von Niveaufläche zu Niveaufläche das Product aus der Kraft und der Weg, d. i. die Arbeit, einen gleichen Werth hat, so werden wir finden, dass die Niveauflächen einander in der Nähe des Körpers in immer geringeren Abständen folgen, was unschwer zu begreifen ist, weil ja, wenn die Kraft zunimmt, was, je näher wir dem Körper kommen, der Fall ist, desto kleiner der Weg werden muss, wenn die Arbeit, das Product beider, gleich gross bleiben soll.

Den von solchen Niveauflächen eingeschlossenen Raum nennt man das elektrische Feld, das ein gleichförmiges ist, sobald die Niveauflächen einander in gleichen Abständen folgen, was meistens in grösserer Entfernung vom Körper der Fall ist.

Potential.

Fassen wir einen Punkt einer Niveaufläche in das Auge und nehmen an, dass in demselben eine gewisse Menge Elektricität, welche der Stelle des elektrischen Feldes entspricht, in welchem er liegt, vorhanden ist, so wird bei einer Fortbewegung dieses Punktes bis in eine unendliche Entfernung, d. h. bis alle Einwirkung der

Elektricitätsmenge verschwindet, ein gewisser Arbeitsaufwand nöthig sein, weil dieselbe den Punkt, welchen wir entgegengesetzt elektrisch voraussetzen wollen, zurückzuhalten sucht.

Diesem Arbeitsaufwand entsprechend wird aber dann auch der Punkt einer Arbeitsleistung fähig sein, weil sich sein Energievorrath vermehrt haben muss.

Wird die in dem Punkte vorhanden gewesene Menge von Elektricität als Einheit angenommen, so giebt jene Zahl, welche die Arbeitsleistung ausdrückt, das Mass derselben an, welches das Potential des betrachteten Punktes heisst.

Das Potential giebt uns also Aufschluss über den elektrischen Zustand eines Körpers, hervorgerufen durch eine gewisse Elektricitätsmenge, und wir könnten es also gewissermassen mit der Temperatur vergleichen, die uns den jeweiligen Wärmegrad, den ein Körper vermöge einer ihm mitgetheilten Wärmemenge erlangt, angiebt; freilich ist es unmöglich, das Potential in absoluten Zahlen anzugeben, wir haben nicht wie bei der Wärme einen absoluten Nullpunkt, sondern müssen dasselbe immer in Beziehung zum Potential anderer Körper, z. B. der Erde, deren Potential gleich Null genommen wird, bringen.

Wir würden aber sehr weit fehlen, wenn wir auch Wärmemenge und Elektricitätsmenge als etwas Gleichwerthiges betrachten wollten. Freilich wird Elektricitätsmenge und Potential durch Arbeitsaufwand gerade so wie Wärmemenge und Temperatur erzeugt; verfolgen wir die Verhältnisse jedoch weiter, so gewahren wir bald einen bedeutenden Unterschied.

Die Arbeit nämlich, welche eine Kugel ausübt, auf welcher sich eine bestimmte Elektricitätsmenge befindet,

hat einen verschiedenen Werth, je nach der Entfernung, in der sich der Körper befindet, auf den sie ihre Wirkung ausüben soll; ihr Energievorrath wechselt also mit der Entfernung beider, was bei Körpern, welche eine gewisse Wärmemenge enthalten, nicht der Fall ist, abgesehen von jener Aenderung des Energie-Inhaltes, die bei allen Körpern in Folge ihrer gegenseitigen Anziehung stattfindet, zu welcher aber bei den elektrischen noch jene der vorhandenen Elektricitätsmenge hinzukommt.

Die Grösse der Energie in einer bestimmten Lage hängt also wohl von der vorhandenen Elektricitätsmenge ab, sie verändert sich aber, trotz der gleichbleibenden Elektricitätsmenge, sobald eine Veränderung der Lage vorgenommen wird, was bei der Wärmemenge nicht der Fall ist.

Das Potential ist es eben, welches uns über diese Aenderungen Aufschluss giebt, indem es sich auf die Einheit der Elektricitätsmenge und auf das Entfernen derselben aus der Oertlichkeit, über deren elektrischen Zustand wir etwas wissen wollen, bis in die Unendlichkeit, bis also alle Einwirkung der Elektricitätsmenge Null wird, bezieht.

Nach dem, was wir vorausgeschickt haben, ist es selbstverständlich, dass alle Punkte einer Niveaufläche gleiche Potentiale haben, ferner ist aber auch klar, dass eine Bewegung längs derselben keine Aenderung der Energie zur Folge haben kann, denn jeder Bewegung, welche ein Körper senkrecht zur Kraftrichtung vollführt, entspricht ein Arbeitswerth, der gleich Null ist.

Verschieben wir z. B. einen Körper auf einer wagrechten Ebene, also senkrecht zur Richtung der Schwerkraft, so nimmt der hierzu nöthige Kraftaufwand mit

der Verringerung der Reibung ab; könnten wir diese ganz vermeiden, so wäre auch die nöthige Arbeit gleich Null, vorausgesetzt, dass die Verschiebung in der Wagrechten klein genug ist, die dabei erfolgende Entfernung vom Erdmittelpunkt vernachlässigen zu können; verschieben wir den Körper auf einer dem Anziehungsmittelpunkt entsprechenden Kugelschale, die ja auch eine Niveaufläche ist, so entfällt diese Vorsicht.

Zeichen des Potentiales.

Wird auf die in dem angenommenen Punkte vorhandene Einheit der positiven Elektricität eine abstossende Wirkung ausgeübt, so besitzt das Potential einen positiven Werth; ist die Bewegungsrichtung eine entgegengesetzte, so ist es auch die Richtung der Kraft, also ist auch das Potential negativ.

Kraftlinien.

Stellen wir uns vor, der Punkt habe einen bestimmten Weg, der sich natürlich in zwei Niveauflächen befindet, zurückgelegt, so ist uns die geleistete Arbeit gegeben in der Differenz der Potentialwerthe der beiden Niveauflächen, auch wenn der Weg nicht die kürzeste Verbindungslinie beider Niveauflächen ist, weil ja eine Bewegung längs der Niveauflächen, wie wir wissen, keine Aenderung des Energie-Inhaltes im Gefolge hat.

Denken wir uns endlich alle jene Punkte der verschiedenen Niveauflächen hintereinander verbunden, zwischen welchen die grösste gegenseitige Wirkung besteht, so erhalten wir die Bahn eines Punktes, der sich in der Richtung der auf ihn wirkenden Kraft fortbewegt; diese Linie heisst die Kraftlinie.

Die Kraftlinien schneiden die Niveauflächen unter einem rechten Winkel, mag die Bahn des Punktes auch was immer für eine Gestalt besitzen, gerad- oder krummlinig sein.

Anordnung der Elektricität auf der Oberfläche eines isolirten Leiters.

Spannung, Capacität.

Wir haben in dem bisher Gesagten immer nur von der Umgebung des elektrisirten Köpers oder der Umgebung einer bestimmten Elektricitätsmenge gesprochen, nun wollen wir untersuchen, wie sich die Elektricität im Körper selbst vertheilt.

Vor Allem ist es klar, dass die einzelnen Theilchen der Elektricität, weil sie einander abstossen, nicht im Innern bleiben können und in Folge dessen gegen die Oberfläche fliehen. Diese wird somit selbst eine Niveaufläche sein.

Hieraus folgt, dass auch die Kraft in jedem Punkte derselben senkrecht zur Oberfläche wirkt.

Nun wissen wir aber bereits, dass diese Kraft der Dichte proportional ist, welche an der untersuchten Stelle herrscht, woraus folgt, dass jedes Theilchen an der Oberfläche das Bestreben hat, sich von derselben zu entfernen, und zwar mit einer Kraft, welche dem Quadrate der Dichte proportional ist (Product aus Kraft und Dichte), woran sie aber der den Körper umgebende Isolator, z. B. die Luft, hindert.

Während also im Innern des elektrischen Körpers gar keine freie Elektricität vorhanden ist, muss unter

solchen Umständen an der Oberfläche ein Zwangszustand herrschen, die Elektricität sich also in einem Spannungszustande befinden, wenn dieselbe dennoch an derselben verharrt.

Nach Maxwell heisst die Kraft, mit welcher die Elektricität bestrebt ist, von der Oberfläche sich zu entfernen, die elektrische Spannung, und ist also diese wohl zu unterscheiden von dem Potential. Andere Physiker verstehen unter Spannung, die an einer Stelle herrscht, die Dichte der dort aufgehäuften Elektricität, während häufig auch die Potentialfunction der Elektricität auf diese Stelle darunter verstanden wird.

Nach der zuletzt angeführten Anschauung fällt die Spannungsdifferenz an zwei Stellen mit der Potentialdifferenz zusammen, nach der vorhergenannten aber nur dann, wenn von zwei gleichgestalteten, gleich grossen, mit verschiedenen Elektricitätsmengen geladenen Körpern die Sprache ist, weil nur bei solchen an den entsprechend gleichen Stellen die Potentialdifferenz der Dichtendifferenz entspricht.

Beziehung zwischen Dichte und Potential, ihre Veränderung bei Veränderung der Gestalt (Oberfläche) elektrischer Körper.

Bisher sind wir von der Voraussetzung ausgegangen, dass die Menge der unserem Körper mitgetheilten Elektricität ungeändert bleibt; denken wir uns aber dieselbe verdoppelt, so muss auch die Dichte derselben zunehmen und doppelt so gross werden, dadurch erhalten wir aber auch in den einzelnen Punkten eine doppelt so grosse Kraftäusserung, der auch eine ebenso vermehrte Arbeitsleistung entspricht; es wird also auch in Folge dessen das Potential einen doppelt so grossen Werth erhalten.

Verringern wir die Oberfläche, so wird, wie leichtverständlich ist, das Gleiche erreicht, die Elektricitätsmenge wird auf einen kleineren Raum zusammengedrängt, im Gegenfalle auf einen grösseren verbreitet.

Das eben Gesagte gilt für Körper jeder Gestalt, da kein Grund vorliegt, warum die später zugeführte Elektricitätsmenge sich anders vertheilen sollte, als die schon vorhanden gewesene.

Diese einfache Beziehung zwischen Dichte und Potential ist jedoch nicht vorhanden, wenn verschiedene Punkte in's Auge gefasst werden, weil, wie wir schon an anderer Stelle gesagt haben, ganz leicht die Dichte an einem und demselben Körper, je nach seiner Gestalt, einen verschiedenen Werth haben kann, ohne dass aber das Potential der einzelnen Punkte verschieden, also ein anderes ist als der Niveaufläche, in welcher sie liegen, hier die Oberfläche selbst, entspricht.

Capacität.

Die dem Leiter mitgetheilte Elektricitätsmenge heisst seine Ladung, die Grösse derselben hängt von der Capacität des Leiters ab, sie ist das Verhältniss der Ladung zum Potential.

Elektromotorische Kraft, Entladung, Elektricitätsleitung.

Denken wir uns zwei Kugeln in Berührung gebracht, auf welchen die Elektricität gleiche Dichte hat, so wird ebensowenig eine Veränderung stattfinden, als ob wir zwei Gefässe, in welchen das Wasser gleich hoch steht, durch eine Röhre in Verbindung setzen.

Ist aber die Dichte und damit auch das Potential der beiden Körper ein verschiedenes, so wird, sobald wir beide durch einen Leiter (Draht) miteinander in Verbindung setzen, nach jenem, der das niedrigere Potential aufzuweisen hat, Elektricität von dem Körper mit höherem Potential überströmen. Dies gilt aber, wohlgemerkt, nur für zwei Körper mit verschiedenen Potentialen und nicht für die Verbindung zweier Stellen solcher Körper, die verschiedene Dichte haben; würde hier eine Elektricitätsströmung eintreten, so könnte die Elektricität an einem Körper, der Stellen mit verschiedener Dichte aufzuweisen hat, z. B. an einem Ellipsoid, nie in Ruhe kommen, was der Wahrheit widerspricht.

Die Kraft, mit welcher die Elektricität dem verbindenden Leiter entlang strömt, ist der Differenz der Potentiale gleich.

Dieser Potentialdifferenz wird auch häufig aus naheliegenden Gründen der Name elektromotorische Kraft beigelegt.

Die übergeleitete Elektricität trägt den Namen elektrischer Strom, er währt so lange, bis eine solche Elektricitätsmenge übergeführt ist, dass beide Leiter dasselbe Potential haben, wozu eine ausserordentlich kurze Zeitdauer genügt, oder, wenn der zweite Körper mit der Erde verbunden ist, bis das Potential Null geworden ist, welcher Fall auch eintritt, wenn beide gleich grosse Elektricitätsmengen, aber von entgegengesetzter Art enthielten.

Die elektrische Energie wird während der Ueberleitung meistens, und zwar mehr minder vollständig in eine andere verwandelt, so dass Licht oder Wärme entstehen oder chemische Zersetzungen eingeleitet werden —

ein Gegenstand, welchen wir später bei den Entladungen von Condensatoren näher besprechen wollen.

Die Grösse der Engerie wächst natürlich mit der Menge der Elektricität, welche überströmt, und der Potentialdifferenz, sie wird bestimmt durch das Product beider (Elektricitätsmenge mal elektromotorische Kraft).

Elektricitätsleiter, Halbleiter, Isolatoren.

Nach dem, was wir soeben erfahren haben, ist es uns leicht, die naheliegende Frage zu beantworten, welche dahin geht, warum es uns nicht gelingt, negative Elektricität nachzuweisen, wenn wir, wie bei dem ersten Versuche geschah, das Reibzeug in der Hand halten, ohne es mit einer Glasröhre zu umgeben; ohne Zweifel wird auch negative Elektricität erzeugt, sie verschwindet aber wieder, weil sie abgeleitet wird. Wir lernen so eine neue Eigenschaft der Elektricität kennen, die Fortleitungsfähigkeit derselben.

Diese Eigenschaft können wir dadurch noch mehr veranschaulichen, dass wir mit dem Amalgam des Reibzeuges, welches wir wieder in die Glasröhre stecken, das eine Ende einer Metallkette in Verbindung bringen; das andere Ende, das wir an einem Seidenfaden aufhängen, zeigt sich sofort, sobald der Glasstab gerieben wird, als negativ elektrisch, die Elektricität des Reibzeuges ist also durch die Metallkette fortgeleitet worden.

Nehmen wir statt der Metallkette einen Seidenfaden, so gelingt der Versuch nicht und schwach nur, wenn wir einen feuchten Leinenfaden benutzen.

Aus diesen Umständen können wir mit Recht den Schluss ziehen, dass nicht alle Körper gleich gut, manche aber gar nicht fähig sind, die Elektricität zu leiten.

Die Glasstange ist z. B. nur an jener Stelle elektrisch, an welcher sie gerieben wurde, und ihr elektrischer Zustand pflanzt sich selbst nach längerer Zeit nicht an das andere Ende fort. Das Berühren mit unserer Hand genügt, die Elektricität von Metallkörpern ganz zu entfernen, während das Glas nur an der berührten Stelle die Elektricität verliert.

Wir können daher in Bezug auf dieses Verhalten alle Körper in gute Leiter und Nichtleiter der Elektricität eintheilen.

Wir müssen jedoch auch einer Zwischengruppe von Körpern gedenken, welche, etwa wie der feuchte Leinenfaden, die Elektricität schlecht leiten, diese nennt man Halbleiter.

Zu den Leitern zählen: die Metalle, Kohle, Salzlösungen und Säuren, Wasser, Gase etc.

Zu den Halbleitern zählen: Holz, Papier, Alkohol etc.

Zu den Nichtleitern (Isolatoren) zählen: Glas, Porzellan, Guttapercha, Kautschuk, Ebonit, Harze, Schwefel, Paraffin, Wolle, Seide, trockene Gase etc.

Aus dem Verhalten des Reibzeuges ohne Isolirung (so nennt man das Umgeben eines Körpers mit Nichtleitern) können wir uns auch den Umstand erklären, warum ein geriebener Metallstab keine Elektricitätsentwicklung erkennen lässt; die erzeugte Elektricität fliesst eben von der Erregungsstelle sofort durch unsere Hand in die Erde ab, welche man sich als einen Leiter von

ausserordentlicher Grösse vorstellen kann, auf welchem die durch unsere Instrumente erregten Elektricitäten keine merkbare Dichteveränderung hervorbringen können.

Vertheilung, Influenz.

Nach der Beschreibung, welche wir von dem Wesen der Elektricität gegeben haben, stossen sich nicht allein die geschiedenen Elektricitäten gleicher Art, sondern auch die kleinsten Theile derselben ab, weshalb auch eine Anziehung und Abstossung nicht nur der Körper durch die Elektricitäten, sondern auch eine Abstossung der gleichen Elektricitäten selbst auf zwei verschiedenen Körpern erfolgt.

Es können also in einem Körper die beiden Elektricitäten nicht blos durch Reiben desselben, sondern auch durch blosse Annäherung eines schon elektrischen Körpers geschieden werden — ein Vorgang, den man das Elektrisiren durch Vertheilung oder Influenz nennt; dass eine solche Elektricitätserregung wirklich stattfindet, lässt sich sehr leicht nachweisen.

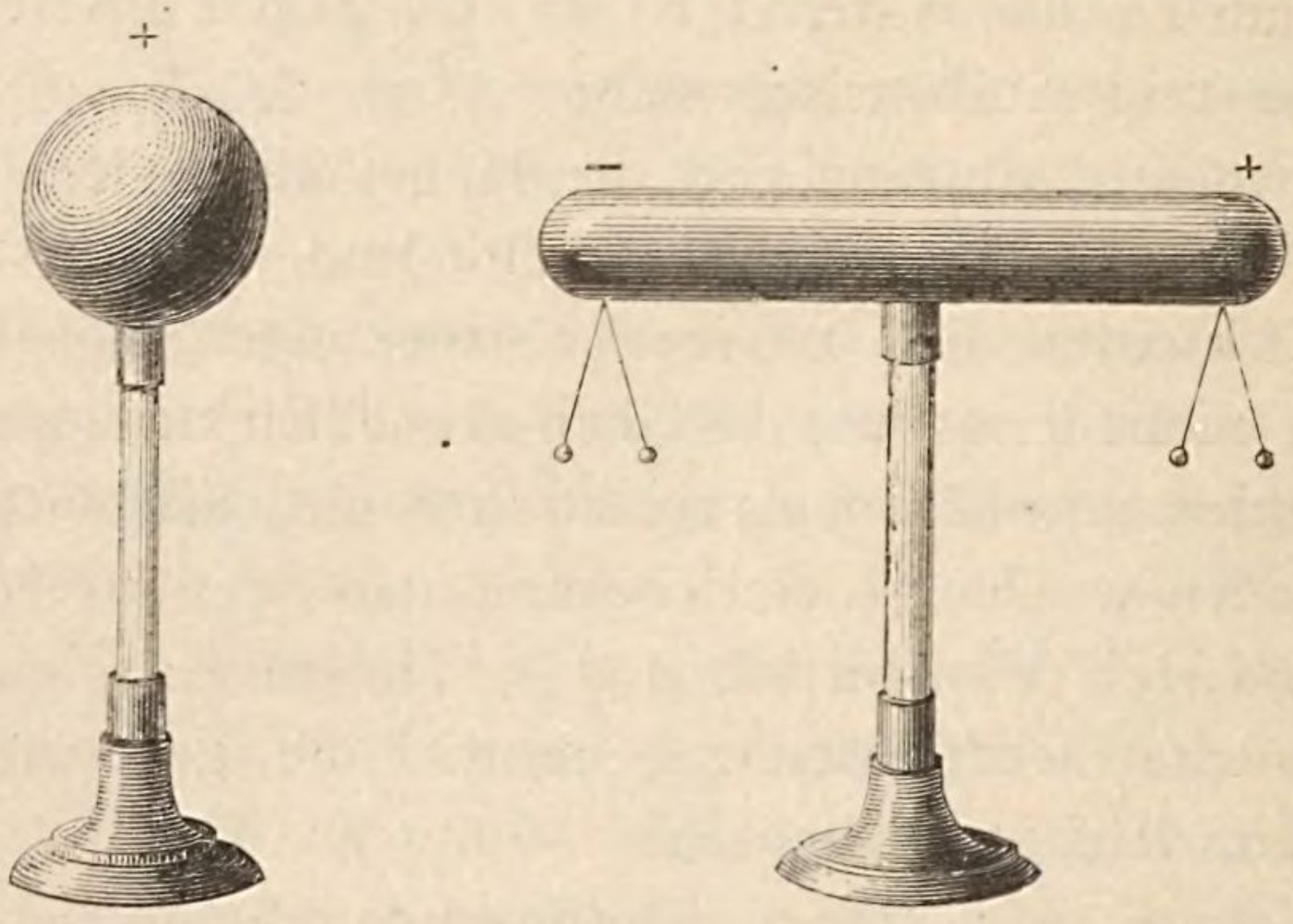
Nähern wir einem cylindrischen Metallkörper, den wir an seinen beiden Enden mit Pendelchen versehen wollen, die aus Markkugeln bestehen, welche an Leinenfäden hängen, eine elektrisirte Kugel, so stossen sich die Kügelchen ab, sobald wir nahe genug gekommen sind, fallen aber sofort zusammen, wenn wir die Kugel wieder entfernen (Fig. 2).

Hätten wir ein Pendelchen an der elektrisirten Kugel geladen und thun nun das Gleiche mit einem zweiten, das wir dem Ende des Cylinders nähern, welches der Kugel, die vertheilend auf ihn wirkt, abgewendet ist, und

bringen einander sodann beide Pendelchen nahe, so werden sie sich abstossen — ein Zeichen, dass sie gleichnamig elektrisch sind und dass wirklich die Elektricität der Kugel anziehend auf die eine, die entgegengesetzte in dem Cylinder, und abstossend auf die gleichnamige gewirkt hat, wodurch beide getrennt wurden.

Berühren wir, während sich der vertheilend wirkende Körper in der Nähe befindet, den Cylinder, so weichen jene Pendelchen, die von der entgegengesetzten Elek-

Fig. 2.



tricität geladen sind, sich also am zugewendeten Ende befinden, noch weiter auseinander, während die beiden anderen zusammenfallen — ein Zeichen, dass die gleichnamige Elektricität abgeleitet werden kann, während dies bei der angezogenen (gebundenen) nicht der Fall ist.

Dass sich diese Elektricität nicht sofort über den ganzen Cylinder vertheilt und auch die anderen Pendelchen zur Abstossung bringt, hat seinen Grund eben darin, dass sie durch die Anziehung der vertheilenden Elektricität an ihren Platz gebannt, gebunden ist.

Entfernen wir nun den Körper, der vertheilend gewirkt hat, so breitet sich die Elektricität sofort über den ganzen Cylinder aus.

Das Gleiche wie durch Ableitung wird auf folgende Art erreicht. Uns ist bereits bekannt, dass an den Spitzen die grösste elektrische Dichte herrscht; denken wir uns nun eine solche Spitze an den Metallcylinder angesetzt, und zwar auf der unserer Kugel abgewendeten Seite, so wird aus der Spitze die gleichnamige Elektricität ausströmen und unser Cylinder sich so verhalten, als ob er abgeleitet worden wäre, d. h. er wird gegen unsere Kugel entgegengesetzt elektrisch sein.

Bringen wir hingegen die Kugel der Spitze gegenüber, so wird die erhöhte Dichte und das Ausströmen der Elektricität auf unseren vertheilenden Körper, die Kugel, derartig wirken, dass sich dessen Elektricitätsmenge vermindert und es den Anschein gewinnt, als hätte durch Saugwirkung eine Elektricitätsentziehung stattgefunden, während die Verringerung nur auf einem Ausgleich entgegengesetzter Elektricitäten beruht, die gegeneinanderströmen, weil eine Dichtenerhöhung an der Spitze auch eine solche an der gegenüberliegenden Stelle der Kugel erregt.

Von beiden scheinbar entgegengesetzten Wirkungen der Spitzen (Saugen und Ausstrahlen) wird bei den verschiedenen Elektrisirmaschinen Gebrauch gemacht.

Ehe wir diesen Abschnitt beendigen, wollen wir noch darauf hinweisen, dass die Vertheilung auch erklärt, wieso es geschieht, dass unelektrische Körper von elektrischen angezogen werden. Die zugewendete Seite des Markkügelchens z. B. wird eben entgegengesetzt elektrisch, und da diese Seite dem vertheilenden Körper näher liegt als

die gleichnamig elektrische abgewendete Seite, überwiegen die Kräfte der Anziehung jene, welche ein Abstossen hervorbringen würden.

. Findet Berührung statt, dann sind beide gleichnamig elektrisch und die Abstossung erfolgt.

Wie und ob eine Vertheilung bei den Isolatoren vor sich geht, werden wir später besprechen.

Condensatoren, Accumulatoren.

Denken wir uns, wir hätten statt des Cylinders ebenfalls eine Kugel verwendet und diese zur Erde abgeleitet, so würde dann die ursprünglich geladene z. B. + elektrisch und jene, die durch Vertheilung elektrisch geworden ist, — elektrisch sein.

Berühren wir nun was immer für eine der Kugeln, so werden wir doch nie im Stande sein, die vorhandene Elektricität vollständig abzuleiten, weil ja die entgegengesetzte nur gebunden ist, und zwar um so kräftiger, je näher sich die beiden Körper befinden.

Die vollständigste Bindung wird natürlich erreicht, wenn sich Flächen gegenüberstehen und statt Luft zwischen beiden sich ein Stoff befindet, welcher dem Uebergang der Elektricität einen grösseren Widerstand entgegensetzt als die Luft im Stande ist, wenn es in Folge starker Elektricitätsaufhäufung zur Funkenbildung kommt.

Ein Apparat, wie wir ihn jetzt in ganz allgemeinen Umrissen beschrieben haben, heisst ein elektrischer Ansammlungs-Apparat (Accumulator), Verstärkungs-Apparat, und ist am bekanntesten unter dem Namen Condensator.

Nach diesen Vorbegriffen wollen wir daran gehen, Apparate kennen zu lernen, die eine grosse Elektricitätsentwicklung gestatten; dies sind die

---

Elektrisirmaschinen.

Sobald grössere Mengen von Elektricität benöthigt werden, gelingt es natürlich nicht, selbe durch Reiben der Glasstange zu beschaffen, und schon frühzeitig ist man auf die Zusammenstellung zweckdienlicher Apparate verfallen. Einer der ersten, deren sich Otto von Guericke (1670) bediente, bestand aus einer Schwefelkugel, welche er dadurch anregte, dass selbe durch Drehen der Kurbel an der Handfläche eines isolirt aufgestellten Menschen gerieben wurde.

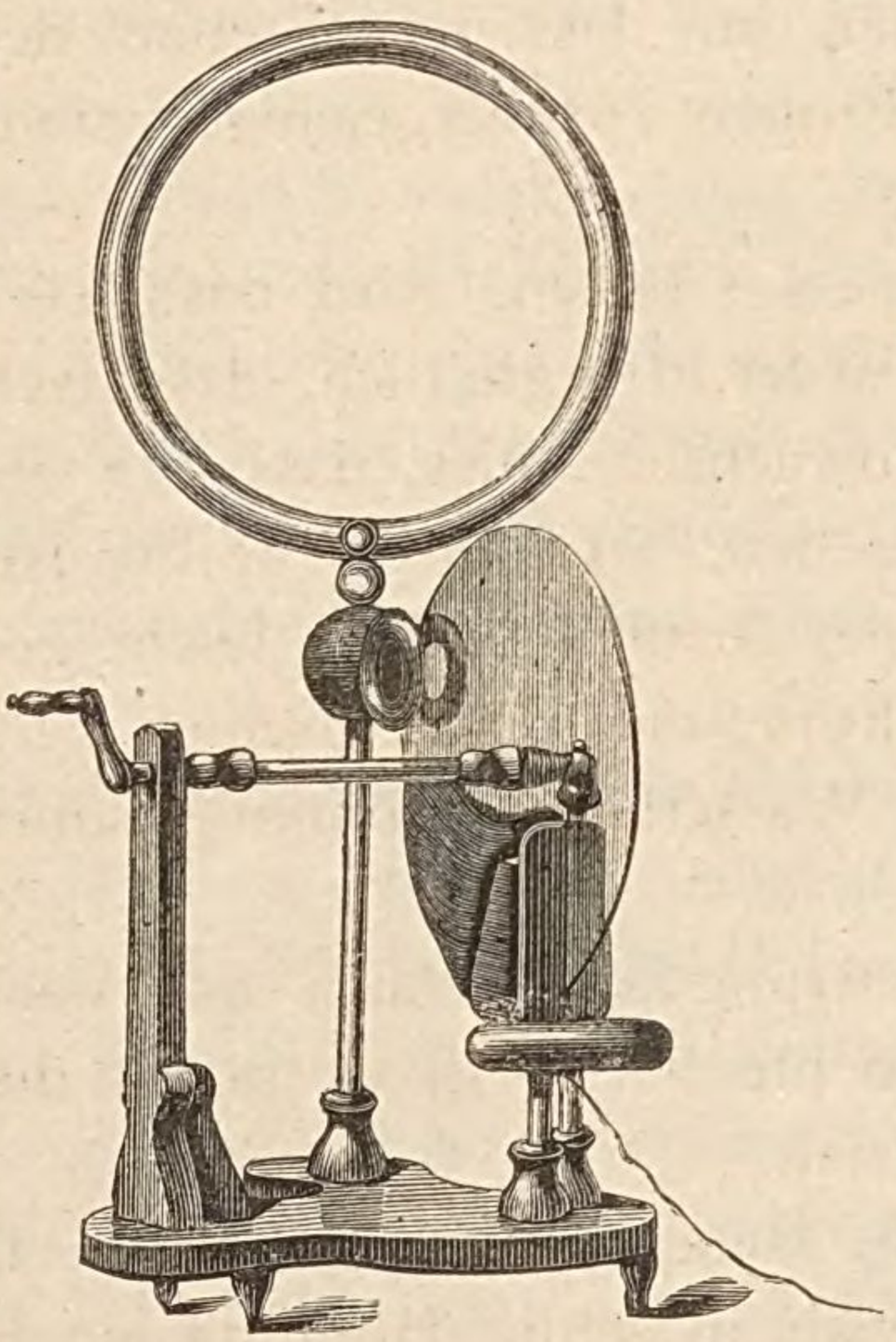
Später bediente man sich der Glascylinder und heute hat die grösste Verbreitung die sogenannte Scheibenmaschine erlangt, welche wir eingehender beschreiben wollen, dabei jene Umgestaltung in's Auge fassend, die ihr zum grössten Theile der erst vor Kurzem verstorbene Wiener Elektriker Karl Winter gegeben hat (Fig. 3).

Auf einem eigenthümlich geformten Brette, an welchem sorgfältig alle scharfen Ecken vermieden sind, befinden sich drei Glassäulen und eine Holzstütze. In einer Bohrung dieser und in jener einer gleich hohen Glassäule liegt eine Glasaxe, an der mittelst einer Holzmutter die Glasscheibe befestigt ist. Diese läuft zwischen dem auf einer kleinen Glassäule angebrachten gabelartigen Holzstücke, das die sogenannten Reibkissen aufzunehmen bestimmt ist.

Diese bestehen aus zwei dreieckigen Holzbrettchen, die mit Flanell und Leder belegt sind, auf welches das Amalgam, wie schon früher beschrieben wurde, aufgetragen ist.

Beide Lederstücke sind mit Verlängerungen von Wachstaffet versehen, welche die Bestimmung haben, das Entweichen der Elektricität in die Luft, während sich die elektrischen Glasstellen zu den Saugringen bewegen, zu verhindern. Die Saugringe werden von einer Metallkugel getragen, die auf einer Glassäule steckt.

Fig. 3.



Die Holzbrettchen der Reibkissen sind mit Stahlfedern versehen, welche sich gegen die Wände der Gabel anspreitzen und so das amalgamirte Leder unter einem sanften Drucke an die Glasscheibe anpressen. Wird nun diese im Sinne der Uhrzeigerbewegung gedreht, so wird die Scheibe + elektrisch, während die — Elektricität in das Reibzeug übergeht, ein Metalldraht, der unter dem Leder liegt, vermittelt die Verbindung der Kissen mit dem wagrecht stehenden Metallcylinder, welcher gewöhnlich der negative Conductor genannt wird. Die + elektrischen Stellen der Scheibe kommen so von unten her unter dem Schutze der Wachstaffetlappen den Ringen gegen-

über, die an der Metallkugel, dem positiven Conductor, befestigt sind. Die vorhandene + Elektricität wirkt nun vertheilend auf das angebrachte Metallbeleg der Ringe und ebenso auf die eingesetzten Metallstifte; dabei wird — Elektricität angezogen und + Elektricität in den Conductor getrieben. Die angezogene — Elektricität strömt aus den Spitzen auf die Scheibe und vereinigt sich dort mit der + Elektricität, so dass jene Stellen der Scheibe, welche vor den Ringen vorübergegangen sind, ziemlich unelektrisch werden.

Wie wir schon oben gesagt haben, wird das Reibzeug — elektrisch und es ist leicht begreiflich, dass nach und nach die Ladung so anwachsen muss, dass sich die Elektricitäten wieder ausgleichen, weshalb es nöthig ist, den — Conductor zur Erde abzuleiten, was leicht geschieht, wenn eine Metallschnur, die mit demselben verbunden ist, zu Gas- oder Wasserleitungsröhren geführt wird.

Eine der Hauptverbesserungen, die sich auf Verlängerung der Funken bezieht, hat Winter durch die Erfindung seines Ringes erzielt.

Dieser Ring, der auf die Metallkugel aufgesetzt wird, besteht aus Holz und enthält in seiner Höhlung einen Metalldraht.

Eine gut gebaute Maschine giebt Funken von der Zwei-Drittel-Länge des Scheibendurchmessers.

Wenn auf nur einer Seite der Scheibe Saugspitzen angebracht sind, wie dies auch häufig, besonders bei den Spreng-Apparaten der Fall ist, und die Scheibe auf beiden Seiten gerieben wird, so hat dies keine nennenswerthe Verringerung der gelieferten Elektricität zur Folge, wie dies aus der nachstehenden Betrachtung leicht hervorgeht.

In dem angenommenen Falle wirken beide Seiten der Scheibe vertheilend auf die Saugspitze, und zwar die abgewendete der grösseren Entfernung wegen etwas schwächer, was aber so wenig austrägt, dass wir annehmen können, wir haben eine doppelt so starke Wirkung zu erwarten, es wird daher auch eine doppelt so grosse Menge negativer Elektricität aus der Spitze auf die eine Seite der Glasscheibe strömen, dort wird sich ein Theil mit der + Elektricität vereinigen, während der andere die + Elektricität auf der Gegenseite bindet.

Verlässt also die Scheibe den Conductorring und dessen Spitze, so ist sie auf der abgewendeten Seite + elektrisch, auf der zugewendeten — elektrisch, in welchem Zustande sie bei den Kissen anlangt, woselbst sich dann wieder die vorigen Zustände herstellen.

Sobald jedoch nur ein Reibzeug, dagegen Saugkämme auf beiden Seiten angewendet werden, verringert sich die Menge der gelieferten Elektricität.

Befindet sich nur der geriebenen Seite gegenüber ein Sauger und leitet die abgewendete Seite, weil sie etwa feucht ist, und steht dabei mit der Erde in Verbindung, so findet fast gar keine Elektricitätsentwicklung statt — ein Fall, der sehr leicht bei den Cylindermaschinen vorkommen kann.

Mehrere Reibzeuge wurden besonders in früherer Zeit in Anwendung gebracht, doch empfiehlt es sich, höchstens zwei gegenüberstehende anzubringen, weil eine Vergrösserung ihrer Anzahl der Ladung bald eine Grenze setzt.

Sollen Versuche mit — Elektricität angestellt werden, so ist nur nöthig, die Schnur an dem + Conductor anzubringen.

Die Funkenlänge zu vergrössern, besitzt dieser, was wir noch erwähnen wollen, ein kleines Knöpfchen, das aus- und eingeschoben werden kann.

Zuweilen geschieht es, dass sich die Scheibe mit Feuchtigkeit beschlägt, besonders dann, wenn das Glas leicht verwittert (Natronglas) — ein Umstand, der sehr vermindernd auf die Elektricitätserregung einwirkt.

Ist dieser Fall eingetreten, so kann ein sehr mässiges Auftragen von Talg (ein Strich auf der Scheibe) verbessernd wirken. Erwärmen und Waschen mit rectificirtem Alkohol führt gewiss zum Ziele, oft auch schon längeres Reiben, weil dadurch die hygroskopische Schicht entfernt wird.

Die Gebrechlichkeit zu umgehen, wird häufig statt der Glasscheibe oder dem Glascylinder eine Scheibe oder ein Cylinder aus Ebonit verwendet; in diesem Falle besteht das Reibkissen aus Pelzwerk, Wolle oder Leder, das mit Musivgold (Zinnsulfid) eingerieben ist. Bei dieser Art Maschinen wird das Reibkissen positiv elektrisch, der Conductor hingegen sammelt negative Elektricität an.

Durch Oxydation des im Ebonit enthaltenen Schwefels bildet sich Schwefelsäure und auch diese Scheiben beschlagen sich mit Feuchtigkeit, obige Mittel und Reiben mit Magnesia beseitigen diesen Uebelstand.

Da die — Elektricität der Reibzeuge bestrebt ist, die + Elektricität zurückzuhalten, welche, an der Glasscheibe haftend, sich von dem Kissen fortbewegt, so ist bei der Drehung der Scheibe nicht blos der Reibungswiderstand, sondern auch die anziehende Kraft der Elektricität zu überwinden, dieser Kraftaufwand ist es eigentlich, welchem die Energie der erzeugten Elektricitäten entspricht.

Vorausgesetzt dass alle Nebenumstände günstig sind, stehen die in der Zeiteinheit erhaltenen Elektricitätsmengen im geraden Verhältnisse zur geriebenen Fläche, d. h. also im geraden Verhältnisse zur Oberfläche der Scheibe, der Zahl der Umdrehungen, der Zahl und Länge der Reibkissen.

Dampfelektrisirmaschine.

Nicht nur durch Reibung fester Körper aneinander kann eine Trennung der Elektricitäten stattfinden, sondern auch dadurch, dass Dampf sich an der Ausströmöffnung reibt — eine Thatsache, die um das Jahr 1840 zufällig bei dem Entweichen des Dampfes durch das Sicherheitsventil einer Locomotive beobachtet wurde. Armstrong, ein englischer Ingenieur, der hiervon Kenntniss erhielt, stellte ausgedehntere Untersuchungen mit Hilfe einer sorgfältig isolirten Locomotive an. Er fand, dass diese eine negative Ladung bekam, sobald die Elektricität des Dampfes, der sich als positiv elektrisch erwies, genügend abgeleitet wurde.

Spätere Versuche, welche Faraday durchführte, legten vollkommen klar, dass weder die Dampfbildung noch dessen Condensation, sondern nur Reibung im vorliegenden Falle die Ursache der Elektricitätsentwicklung seien — Vermuthungen, die deshalb mit besonderer Vorliebe gehegt wurden, weil damit eine Erklärung für die Bildung der atmosphärischen Elektricität gefunden gewesen wäre.

Die Apparate, welche zur Erzeugung der Dampfelektricität dienen, bestehen aus einem isolirten Dampfkessel, der die Erzeugung einer Dampfspannung von

wenigstens sechs Atmosphären gestattet und mit mehrerne in einer Linie liegenden Ausströmöffnungen versehen ist. Diesen gegenüber ist eine Reihe von Metallspitzen angebracht, wie zwei einander in einer Fläche gegenüberstehende Kämme.

Diese Saugspitzen werden abgeleitet oder dienen, sobald sie isolirt sind, zum Nachweise dessen, dass der Dampf positiv elektrisch ist. Armstrong, der diesen Apparat Hydroelektrisirmaschine nannte, erhielt aus seinen freilich riesigen Kesseln von 2 Meter Länge und 1·1 Meter Durchmesser, deren er zwei verwendete, um 46 Ausströmöffnungen zu speisen, sehr zahlreiche und kräftige Funken.

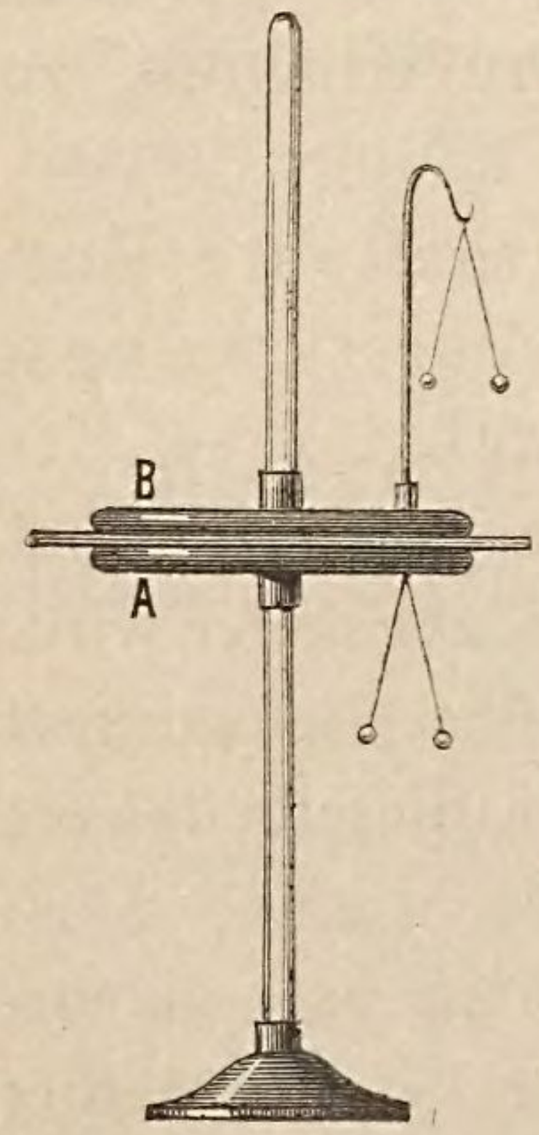
Accumulatoren, Condensatoren und ihre Capacität, Bindungs- und Verstärkungszahl.

Vorläufig wollen wir nur erwähnen, dass es verschiedene Arten solcher Ansammlungs-Apparate giebt; solche, bei welchen die beiden Metalle, Leiter, auch Elektroden, Belege, mit dem isolirenden Zwischenmedium (Dielectricum), sobald es nicht blos Luft ist, fest verbunden sind und welche hauptsächlich ausser zur Verstärkung auch zur Aufbewahrung der Elektricität benutzt werden (Leydener Flaschen), und die eigentlichen Condensatoren; bevor wir näher auf diese Apparate eingehen, wollen wir einige Angaben über die Capacität solcher Accumulatoren machen.

Bekanntlich versteht man unter Capacität eines Conductors das Verhältniss zwischen seiner Ladung und seinem Potential. Bringen wir einen solchen mit dem Belege *A* des Condensators (Fig. 4), das auch Collector

genannt wird, in Berührung, so lange sich noch nicht das zweite gegenüber befindet, so wird, wie wir ja bereits wissen, das Potential desselben den gleichen Werth erreichen und dabei eine Elektricitätsmenge $+ E$ überströmen; stellen wir jetzt das zweite Beleg B, den Condensator im engeren Sinne (Condensatorplatte), während wir es ableitend berühren, gegenüber, so wird auf diesen eine Elektricitätsmenge gebunden, die wir mit $- nE$ bezeichnen wollen, dabei unter n einen echten Bruch verstehend, dessen Nenner der Dicke des Dielectricums proportional ist.

Fig. 4.



Diese gebundene negative Elektricität $- nE$ wirkt wieder vertheilend auf den Collector, wodurch abermals eine Elektricitätsmenge gebunden wird, und wir erhalten

$$+ n \,.\, n\, E = n^2\, E;$$

auf dem Collector Beleg A vermindert sich in Folge dessen die vorhandene freie positive Elektricität nach der Formel

$$E - n^2\, E = (1 - n^2)\, E,$$

weshalb vom Conductor eine neue Elektricitätsmenge zuströmen kann.

Setzen wir das Laden fort, so erhalten wir auf dem Belege

$$A \ldots . \qquad E + n^2\, E + n^4\, E + \ldots . = \frac{E}{1 - n^2}$$

$$B \ldots . \qquad - n\, E - n^3\, E - n^5\, E - \ldots . = \frac{n\, E}{1 - n^2}$$

sehen also, dass zum Schlusse die Ladung auf A grösser

sein wird als auf B, und zwar $\frac{1}{1 - n^2}$ mal grösser als die erste Ladung des Beleges war und $\frac{1}{n}$ mal grösser als die Ladung der Belegung B wird.

Während die Zahl n die Bindungszahl genannt wird, heisst $\frac{1}{1 - n^2} = m$ die Verstärkungszahl oder die condensirende Kraft des Accumulators; sie ist umsomehr annähernd verkehrt proportional den Belegabständen, je kleiner diese im Verhältniss zu den Belegen selbst sind.

Werden Platten angewendet und sind ihre Entfernungen sehr gering, so ist die Verstärkungszahl deren Durchmesser proportional.

Nicht übersehen aber darf werden, dass obige Formel nur Giltigkeit hat, sobald die Belegung B abgeleitet wird, denn im Gegenfalle könnte die Ladung der Belegung A nicht verstärkt werden und es blieben dieselben Verhältnisse, als ob A allein vorhanden wäre.

Von welcher Tragweite das Ableiten ist, davon kann man sich leicht beim Laden eines Condensators oder einer Leydener Flasche überzeugen.

Wird das äussere Beleg nicht abgeleitet, so ist sie bald geladen und wirkt ausserordentlich schwach; findet die Ableitung statt, so belehrt schon der Augenschein, dass die Flasche mehr Elektricität aufnimmt.

Werden die Belege durch abwechselndes Berühren entladen, so haben wir, ganz ähnlich wie bei dem Laden eine Zunahme, hier einen Abgang, wie folgt:

Für A	$+ E$	$+ n^2 E$	$+ n^4 E$	
„ B		$- nE$	$- n^3 E$	$- n^5 E$

Wir haben schon erwähnt, dass wir mit Hilfe der Condensatoren, besonders wenn sie die Form der Leydener Flaschen haben, im Stande sind, kräftige Funken zu erzielen, die eine bedeutende Länge erreichen können.

Aber auch die Ladungsgrenze eines Condensators kann verschiedene Werthe erreichen, je nach dem Dielectricum oder der isolirenden Zwischenschicht, welche in demselben die Belege trennt.

Diese Entdeckung sowohl, als auch der Name Dielectrica für solche Körper (Isolatoren), in denen durch die elektromotorische Kraft die Elektricität nicht sofort derartig vertheilt wird, dass überall dasselbe Potential vorhanden ist, stammen von Faraday.

Er machte die Entdeckung, als er statt Luft und anderen Gasen als Zwischenschicht Schwefel, Glas, Harz verwendete und dadurch eine Zunahme der Capacität erzielte.

Das Verhältniss der Capacitäten eines Condensators, dessen Zwischenschicht durch Luft gebildet wird, zu einem solchen, dessen Dielectricum ein anderer Stoff ist, nannte er die specifische inductive Capacität, heute nennt man die dem Verhältniss entspringende Zahl die

Dielektricitätsconstante des Dielectricums.

Dieser Gegenstand ist ziemlich wichtig, wie vielleicht aus einigen Beispielen, welche wir nachstehend anführen wollen, hervorgeht.

Nach verschiedenen und sorgfältigen Messungen, welche vorzüglich Boltzmann anstellte, sind die Dielektricitätsconstanten für Ebonit 3·15, für Schwefel 3·84, Colophonium 2·55, Paraffin 2·32, Schellack 1·55, d. h. eine Ebonitschicht kann 3·15mal dicker sein, als eine Luft-

schicht, ohne dass die Capacität des Condensators verringert wird; die Belege müssen bei Luft auf 1 Cm. genähert werden, während sie bei Anwendung von Ebonit 3·15 Cm., bei Schwefel sogar 3·84 Cm. voneinander abstehen können.

Boltzmann hat aber ferner auch gefunden, dass die Grösse des Verhältnisses nicht nur von den Stoffen selbst, sondern auch von ihrer molecularen Beschaffenheit abhängt, und dass bei den Gasen eine Aenderung stattfindet, sobald sich der Druck ändert, unter welchem sie sich befinden.

Wie wir schon oben erwähnten, nahm Faraday an, dass in den sogenannten Isolatoren die Vertheilung der Elektricität auf andere Weise vor sich gehe, als bei den Leitern, weil eine Bewegung der Elektricität von Molekül zu Molekül als unmöglich angenommen wurde, dafür aber eine Scheidung der beiden Arten in jedem derselben, oder nach Anderen auch eine polare Anordnung der Moleküle, woher der Ausdruck dielektrische Polarisation stammt, als möglich gedacht wurde.

Andere Physiker, welche überhaupt die Annahme nicht zulassen, dass es Nichtleiter giebt, schreiben das langsame Zustandekommen der Influenzwirkung in denselben der verlangsamten Bewegung der Elektricität zu.

Nach dieser Ansicht findet so lange eine Leitung und Vereinigung der Elektricitäten statt, bis eine gewisse Grenze in der Spannungsdifferenz erreicht ist.

Wüllner hat nachgewiesen, dass bei minder guten Isolatoren, sogar bei Glas, wirklich eine Leitung neben der dielektrischen Wirkung erfolgt, dass dies aber besonders bei Flüssigkeiten stattfindet.

Dagegen hat auch Boltzmann an einer Schwefelkugel nachgewiesen, dass die Vertheilung der Elektricität in derselben nicht durch Leitung vor sich geht.

Disruptive Entladung, der elektrische Funke.

Nicht immer aber erlaubt das Dielectricum eine Erreichung der Ladungsgrenze, indem es den Elektricitäten schon früher gestattet, sich zu vereinigen, wenn die elektromotorische Kraft einen gewissen Werth erreicht hat.

Eine derartige Entladung, welche nach Faraday eine disruptive heisst, ist von Schall und Lichterscheinungen begleitet, sie tritt früher ein bei Luft, als bei Glas. Geht die Entladung vor sich, so zerreisst der elektrische Strom den Isolator vorübergehend bei Gasen und Flüssigkeiten, bleibend bei festen Körpern, welche er durchbohrt.

Die Lichterscheinung, die bei einer derartigen Spannungsausgleichung stattfindet, heisst: der elektrische Funke, wie wir schon an anderer Stelle bemerkt haben. Je grösser die Elektricitätsmenge ist, welche bei einer Funkenentladung übergeht, desto glänzender ist die Lichterscheinung. Je grösser hingegen die Spannung ist, desto länger wird der Funke, er verliert aber dabei seine Geradlinigkeit, wird zackig und verästelt sich selbst.

Die Farbe hängt sowohl von der Natur der Gase, in welchen die Entladung stattfindet, als auch davon ab, welche Metalle als Conductoren benutzt werden.

Convective Entladung.

Läuft der Conductor in eine Spitze aus, so findet eine Ausstrahlung der Elektricität an derselben statt, wie wir früher erfahren haben, da ja an der Spitze die Dichte der Elektricität am grössten ist, sie müsste bis in's Unendliche anwachsen, wenn auch die Luft ein vollkommener Isolator wäre; da dies aber nicht der Fall ist, so sammelt sich Elektricität in der Umgebung der Spitze an.

Da nun die Lufttheilchen gleichnamig elektrisirt sind, folgen sie den abstossenden Kräften und entfernen sich von der Spitze in der Richtung der Kraftlinien, währenp neue ungeladene zur Spitze strömen, bis eine vollkommene Entladung stattgefunden hat. Auf diese Weise entsteht ein Luftstrom, der auch unelektrische Theilchen mitreisst und von einer Lichterscheinung begleitet ist.

Diese Luftströmung heisst der elektrische Wind; dieser ist zwar in der Nähe der Spitze sehr kräftig, verliert aber bald seine Geschwindigkeit.

Kommen die Theilchen in die Nähe einer Wand, so bilden sie um diese herum eine elektrische Atmosphäre, ja induciren in derselben zuweilen entgegengesetzte Elektricität.

Eine Entladung, welche auf die eben beschriebene Weise vor sich geht, also gewissermassen eine Art Elektricitätsleitung durch Gase zu sein scheint, aber nur eine Ueberführung der Elektricität mit den materiellen Theilchen, welchen sie anhaftet, ist, heisst eine convective Entladung oder kurz elektrische Convection.

Die Bildung der Lichterscheinung, die Entstehung einer Art Lichthülle geht in verdünnten Gasen leichter

vor sich als in solchen, welche einem grösseren Druck ausgesetzt sind, tritt auch deutlicher auf, wenn positive Elektricität im Spiele ist, als im entgegengesetzten Falle.

Auf diesen Principien beruht das sogenannte elektrische Ei, das aus einem mit verdünnter Luft gefüllten eiförmigen Glasgefässe besteht, in welches einander gegenüber luftdicht zwei Elektroden eingekittet sind.

Zur Beobachtung der Lichterscheinungen in verschiedenen Gasen dienen die sogenannten Plücker'schen oder Geissler'schen Röhren, bei welchen es oft genügt, durch Reiben eine Elektricitätserregung und dadurch ein Leuchten derselben hervorzubringen, die aber meist mit zwei eingeschmolzenen Metalldrähten versehen sind, durch welche der Strom in das Innere geleitet wird. Bei einer Gattung derselben, die Geissler ersonnen hat, wird durch Schütteln einer kleinen Menge eingeschlossenen Quecksilbers eine Elektricitätserregung und damit ein Leuchten derselben erzielt. Picard beobachtete zuerst diese Art des Elektricitäts-Ueberganges in der sogenannten Toricelli'schen Leere des Barometers.

Leydener Flasche, Condensatoren.

Im Anschlusse an unsere Besprechung des elektrischen Funkens wollen wir jene Apparate beschreiben, mit deren Hilfe es gelingt, einen solchen von kräftiger Beschaffenheit zu erhalten.

Der erste, welcher, und zwar um das Jahr 1745, einen derartigen Apparat zusammenstellte, war der Prälat Kleist in Cammin; im darauffolgenden Jahre erfand Cunäus in Leyden denselben Apparat noch einmal.

Des Ersteren Apparat bestand aus einem Glasfläschchen, in das er etwas Quecksilber, auch Alkohol einfüllte und selbes dann mit einem Stöpsel versah, durch den ein Metallstift bis in die Flüssigkeit ging. Wurde das Fläschchen in der Hand gehalten, also abgeleitet und der Stift einer Elektricitätsquelle genähert, so strömte Elektricität in diesen über und konnte nach einiger Zeit in viel kräftigerer Form, so dass sie eine Erschütterung hervorbrachte, aus dem Stift herausgezogen werden, sobald selbem ein Fingerknöchel der anderen Hand genähert wurde.

Wie leicht zu begreifen ist, bildete die Flüssigkeit den Collector und die Hand, welche das Fläschchen hielt, zugleich den Condensator und die Ableitung. Dass eine solche nöthig sei, wurde von Muschenbroek in Leyden festgestellt, der sich eingehend mit diesem Apparate beschäftigte.

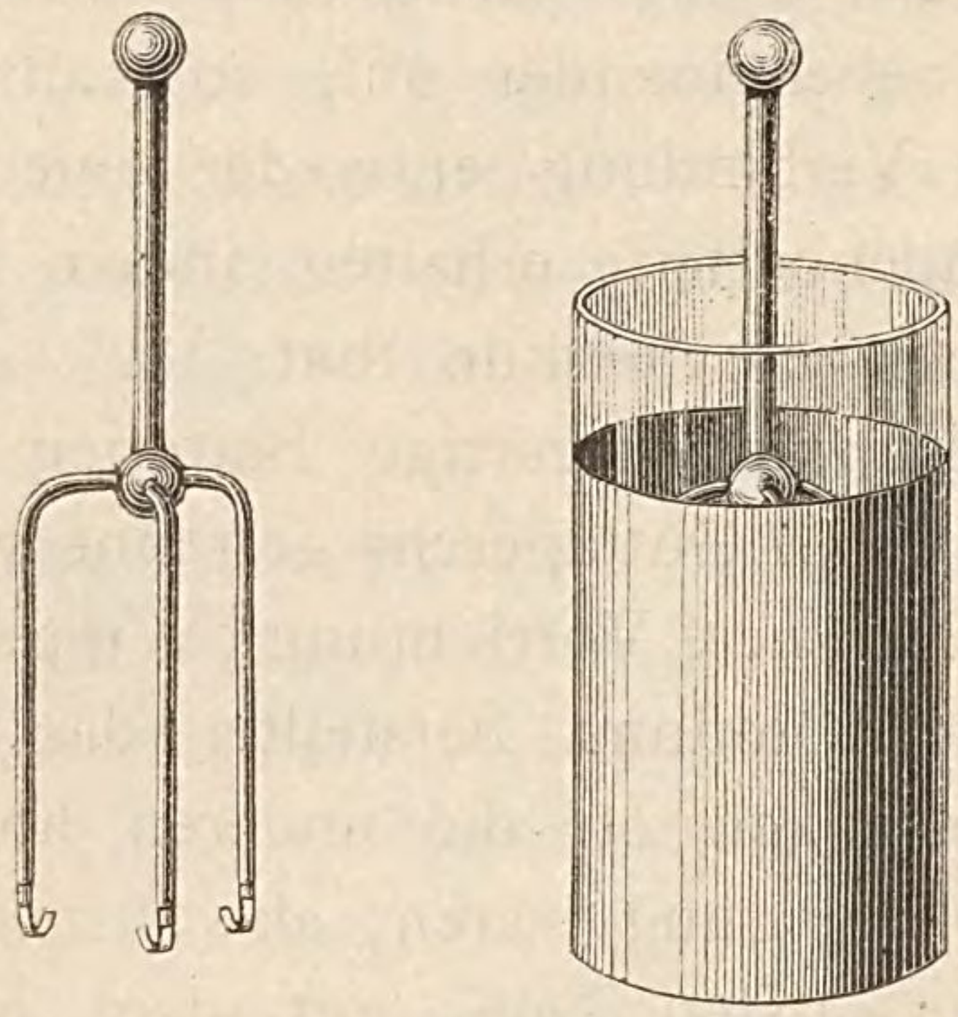
Heute stellt man diese Apparate meistens so her, dass man ein Glas-, auch Ebonitgefäss mit einem Ueberzug (Beleg) von Zinnfolio (Stanniol) versieht, das innen und aussen nicht ganz bis zum Rande reicht. Die Oeffnung wird entweder mit einem isolirenden Stoffe verschlossen, durch welchen ein Leiter einerseits bis zum Beleg, andererseits entsprechend nach aussen geführt ist, um das Gefäss bequem jeder Elektricitätsquelle nähern zu können, oder der Leiter bekommt, wie die Fig. 5 andeutet, einen Fuss, damit er im Glase aufrecht stehen bleibt.

Soll die Ladung einige Zeit anhalten, so muss eine solche Glasgattung gewählt werden, welche nicht, wie es Natronglas thut, leicht verwittert, oder mindestens ein guter Lacküberzug selbes vor dem Einfluss der Atmosphäre schützen; Staub und ablagernde Feuchtigkeit bringen aber auch dann noch bald einen Ausgleich der

Elektricitäten zu Stande, und ist es vortheilhaft, wenn man das Einschliessen der Flasche in einen trockenen Raum umgehen will, das innere Beleg durch concentrirte Schwefelsäure zu ersetzen und einen Glasstöpsel, durch den ein Bleistab geht, einzukitten.

Will man grosse Elektricitätsmengen ansammeln, so stellt man grosse Flaschen her, oder vereinigt mehrere zu einer Batterie, indem man alle inneren und äusseren Belege verbindet.

Fig. 5.



Eine andere Art der Verbindung ist jene, welche zuerst von Franklin angewendet wurde, indem er die Flaschen derartig aneinander aufhängte, dass der Draht der nachfolgenden an dem äusseren Beleg der vorhergehenden befestigt war und nur die letzte Flasche abgeleitet wurde.

Natürlich kann man auch alle Flaschen isolirt aufstellen und die inneren Belege mit den äusseren entsprechend verbinden, das letzte Glied aber ableiten.

Auf fast das Gleiche läuft das Ineinanderstecken mehrerer Leydener Flaschen hinaus.

Die erste Art der Flaschenverbindung heisst Condensatorbatterie oder Quantitätsbatterie; sie enthält grosse Elektricitätsmengen, deren Potential aber nur dem einer Flasche entspricht; die zweite Art die Cascadenbatterie, auch Spannungsbatterie. Das Potential kann einen Werth erreichen, bevor die disruptive Entladung eintritt, als ob eine Flasche mit der Summe aller Wanddicken verwendet worden wäre.

Franklin stellte seinen Ladungs-Apparat aus vier ebenen Glastafeln her, die auf beiden Seiten mit Metallbelegen versehen waren (Franklin'sche Tafel). Stellt man solche Tafeln nebeneinander auf, so kann man auch durch geeignete Verbindung entweder eine gewöhnliche oder eine Cascadenbatterie erhalten, indem man die Belege verbindet wie es Franklin that.

Holtz stellte vier derartige Batterien aus Metallplatten her, die durch Guttapercha getrennt waren, indem er durch eine geeignete Vorrichtung (Wippe) auf einmal eine derartige Verbindung herstellte, dass alle Belege der einen Seite abgeleitet, die anderen aber mit dem Conductor in Verbindung waren; als er hierauf aber den Condensator der ersten Tafel mit dem nachfolgenden Collector verband u. s. w., erhielt er einen Funken von bedeutend grösserer Spannung.

Wollte man grosse Elektricitätsmengen erzielen, müsste man umgekehrt verfahren.

Planté endlich stellte für seine rheostatische Maschine solche Condensatoren aus Glimmer her, sie waren ebenfalls mit einer Walze verbunden, die sie einmal nebeneinander, dann, wie oben beschrieben, hintereinander schaltete. Auf diese Weise erhielt er so kräftige Funken, dass er im Stande war, durch die Entladungen Glas zu ätzen.

Auf diesem Wege können wir so kräftige Entladungen erzielen, dass der elektrische Funke im Stande ist, eine längere Luftstrecke zu durchbrechen.

Die Entfernung, bis auf welche eine solche Entladung vor sich geht, heisst die Schlagweite und diese ist, wie Riess nachgewiesen hat, der Dichte der Elektricität proportional, weshalb einer Vereinigung von zwei oder mehr gleichen Flaschen auch dem entsprechend eine doppelt so grosse, der Zahl entsprechende Elektricitätsmenge zugeführt werden muss, wenn die gleiche Schlagweite erreicht werden soll.

Die Energie, mit welcher die Entladung einer Leydener Flasche erfolgt, lässt sich nach folgender Formel berechnen: $2\pi \frac{Q^2}{O} d$, in welcher Q die Elektricitätsmenge, O die Oberfläche und d den Abstand der Belege bedeutet.

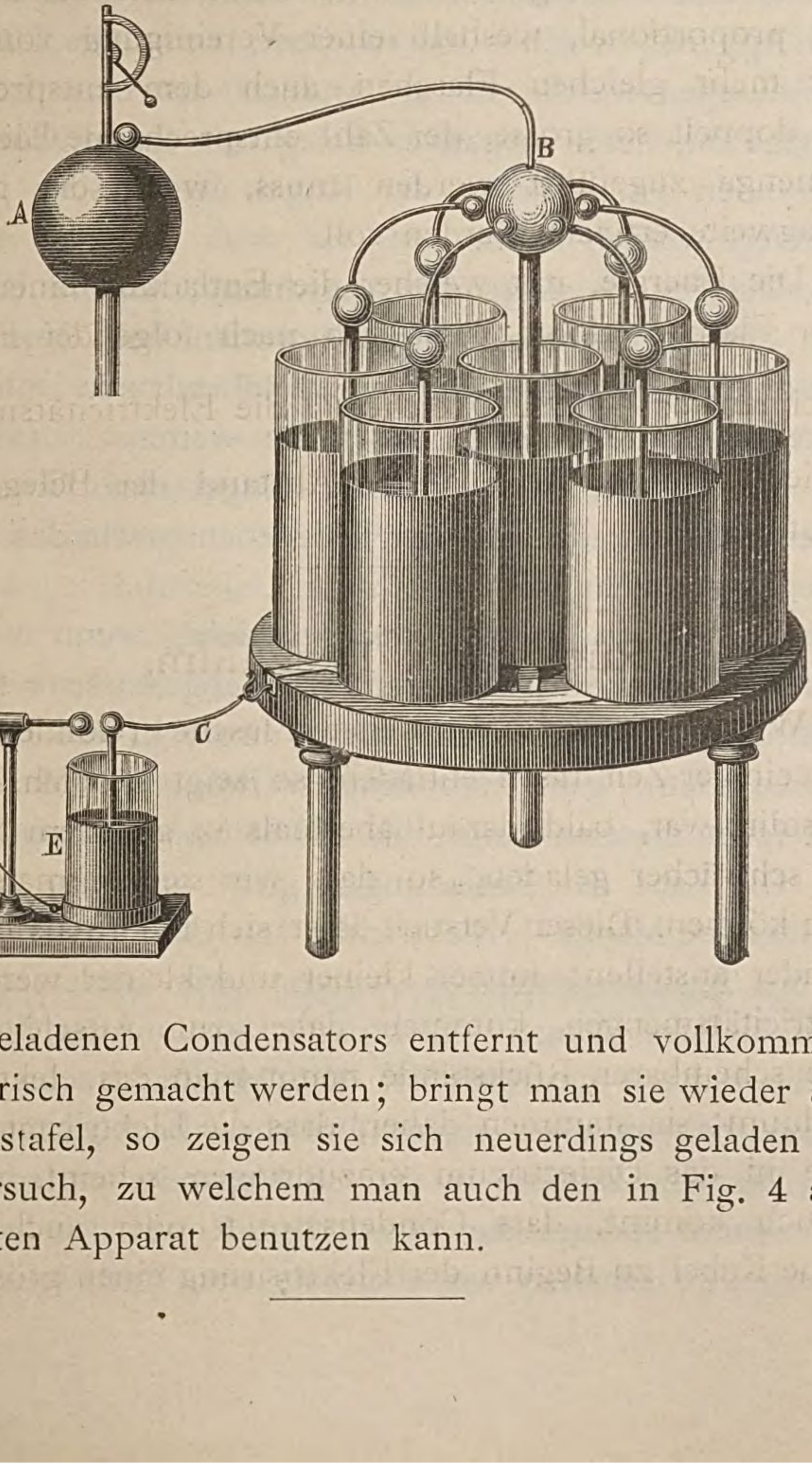
Rückstand, Residuum.

Wenn wir eine Leydener Flasche (Condensator) nach einiger Zeit rasch entladen, so zeigt sie sich, wenn sie isolirt war, bald darauf abermals in gleichem Sinne, aber schwächer geladen, so dass wir sie abermals entladen können. Dieser Versuch lässt sich mehrmals hintereinander anstellen; immer kleiner und kleiner werdende Elektricitätsmengen kommen dabei zur Ausgleichung. Diese scheinbaren Rückstände nennt man das elektrische Residuum; sie stammen daher, dass die Elektricität theilweise in das Dielectricum einzudringen scheint, woher es auch kommt, dass Condensatoren oder auch submarine Kabel zu Beginn der Elektrisirung einen grösseren

Verlust aufweisen und dieser sich mit der Dauer derselben vermindert.

Der Versuch, welcher diese Absorption beweisen soll, wird meist so angestellt, dass die beiden Belege

Fig. 6.



eines geladenen Condensators entfernt und vollkommen unelektrisch gemacht werden; bringt man sie wieder auf die Glastafel, so zeigen sie sich neuerdings geladen — ein Versuch, zu welchem man auch den in Fig. 4 abgebildeten Apparat benutzen kann.

Massflasche.

Die Selbstentladung einer Leydener Flasche kann auch, wie Lane es zuerst gethan hat, dazu benutzt werden, die relative Quantität der Elektricität zu messen, welche eine Batterie aufnimmt, wenn sie geladen wird. Der Apparat, welcher hierzu dient, heisst die Lane'sche Massflasche, welche nichts Anderes als eine Leydener Flasche ist, deren negatives Beleg mit einem Conductor verbunden ist, welcher der Kugel der Flasche beliebig genähert werden kann.

Die Fig. 6 zeigt die Anordnung, welche Riess zu dem oben genannten Zwecke getroffen hat. Vom Conductor einer Maschine führt ein Metallstab zur isolirt aufgestellten Batterie, von dieser ein weiterer zum Knopf der Massflasche, welchem die Kugel des Conductors gegenübersteht, der mit der Erde ebenso wie das äussere Beleg verbunden ist.

Wir sehen sofort, was geschieht, wenn wir zur Batterie Elektricität zuführen. Die abgestossene Elektricität des Beleges, welche nicht direct in die Erde abfliessen kann, geht zum inneren Beleg der Massflasche und ladet diese so lange, bis die Selbstentladung erfolgt.

Die Zahl der Entladungen giebt uns nun an, wie oft dieselbe Menge + Elektricität von dem äusseren Beleg in die Flasche getrieben wurde; wie vielemale also auch dieselbe Menge + Elektricität aus unserer Maschine in die Batterie geströmt ist. Die Massflasche bietet uns Gelegenheit zu einer eigenthümlichen Beobachtung.

War die Batterie in ihrer Schlagweite entladen und wir nähern sodann die Kugel dem Knopf der Leydener Flasche, so erhalten wir abermals eine Entladung.

Nach sorgfältigen Untersuchungen überzeugte sich Riess, dass die bei der Entladung in der Schlagweite übergehende Elektricitätsmenge zur Ladung immer in einem bestimmten Verhältnisse steht und dass $^2/_{13}$ der Ladung zurückbleibt, von welcher Art auch immer der Schliessungsbogen ist. Da wir nun wissen, dass die Schlagweite der Ladung proportional ist, so ist leicht verständlich, warum wir jetzt auf $^2/_{13}$ der Entfernung näher kommen müssen, damit abermals ein Funke übergeht u. s. w.

Die Ursache, dass bei der ersten Entladung eine so grosse Elektricitätsmenge übergeht, liegt in der Luftverdünnung, welche bei Beginn derselben eintritt, die Entladung währt so lange, bis die Ladung so schwach geworden, dass trotz der Luftverdünnung die Spannung nicht mehr hinreicht, die Luft zu durchbrechen. Diese Art der Entladung nennt man eine successive Entladung, und dass sie stattfindet, beweist der Umstand, dass mehr Elektricität zurückbleibt, wenn die Leitung während der Entladung plötzlich (Abschmelzen des Drahtes, das wir später kennen lernen) unterbrochen wird. Von dieser Art der Entladung mit Rückstand wohl zu unterscheiden ist jene Erscheinung, welche wir oben besprochen haben.

Wirkungen der elektrischen Entladung.

Mechanische Wirkungen.

Wir haben schon erwähnt, dass bei der disruptiven Entladung das Dielectricum, wenn es ein fester Körper ist, zerstört wird. Diese Durchbrechungen können wir natürlich durch Anwendung von Leydener Flaschen

nach unserem Belieben hervorbringen, wenn wir in dem Weg des Funkens irgend einen schlechten Leiter anbringen.

Holz, Glas, Kartenblätter werden durchbrochen, sobald man die in Spitzen auslaufenden Conductoren an diese Stoffe anlegt und dafür sorgt, dass der Funke keinen anderen Weg einschlagen kann; bei der Durchbrechung von Glas kommt es, wie leicht begreiflich, weniger auf die Quantität als auf eine grosse Dichte der Elektricität an.

Eine eigenthümliche Durchbrechung erfahren die Kartenblätter, indem nämlich der Rand nach beiden Seiten aufgeworfen ist; stehen dabei die Spitzen einander nicht gegenüber, so erfolgt die Durchbrechung am negativen Pole. Dies, besonders aber die verschiedenen Staubfiguren, deren Herstellung wir sogleich erklären werden, welche den beiden Elektricitäten entsprechen, wurde lange Zeit als ein bemerkenswerther Unterschied beider Elektricitäten angesehen.

Bedeckt man das Mittel eines Harzkuchens mit einem Metallscheibchen und entladet in dieses eine mit positiver Elektricität geladene Leydener Flasche, so entsteht eine eigenthümliche sternförmige Figur, sobald wir Lycopodium, Schwefelblumen, Mennige oder Colophonium aufstreuen, indem wir diese staubfreien Stoffe aus einem Leinenbeutel auf die Harzfläche beuteln.

Wird jedoch eine negativ-elektrisch geladene Flasche benutzt, so erscheinen statt der eisblumenartig verästelten Strahlen des Sternes in weit geringerer Ausdehnung runde Flecken.

Nach Riess können wir diese Erscheinung damit erklären, dass die von dem Rand der Scheibe ausströ-

mende Elektricität die an der Oberfläche des Harzkuchens condensirte Schicht aus Luft und Wasserdampf durchbricht, wo dabei durch die Reibung Gastheilchen negativ-elektrisch werden, was die Weiterverbreitung der positiven Elektricität befördert, jene der negativen aber hindert.

Nach E. Reitlinger und Fr. Wächter rühren hingegen die Strahlen davon her, dass die + Elektricität und nur diese, kleine Metall- oder Staubtheilchen vom Zuleiter losreisst, die, an der Harzoberfläche streifend, ihre + Elektricität an diese abgeben, wodurch die Strahlen entstehen.

Ist die Entladung eine sehr verzögerte, oder sind keine Staubtheilchen (wenn Holz benutzt wird) vorhanden, so entsteht eine scheibenförmige Figur, weil die Elektricitätsübertragung durch Gastheilchen erfolgt.

Wärme-Erzeugung.

Wir haben schon erfahren, dass die elektrischen Entladungen zumeist mit Lichterscheinungen und Schallerregung verbunden sind und dass der elektrische Funke das Dielectricum zerstörend durchbricht.

Schalten wir in den Kreis einer Entladung einen dünnen Eisendraht ein, so können wir, wenn dieselbe stark genug ist, eine Erwärmung desselben beobachten, welche sich bis zur Rothgluth steigern, ja ein Schmelzen veranlassen kann.

Die Stärke der Ladung hängt von der Wahl des Stoffes ab, der erwärmt werden soll, und zwar von seinem Querschnitt sowohl, als auch von dessen Länge. Schlechtere Leiter erwärmen sich stärker.

Wendet man brennbare Stoffe, gepulvertes Colophonium, auf Baumwolle vertheilt, oder Aether an, so findet eine Entzündung ebenso statt, als auch dann, wenn der Funke durch Knallgas schlägt.

In Bezug auf die Erwärmung der Metalldrähte hat Riess eingehende Versuche angestellt. Er fand, dass die Erwärmung, welche ein Platindraht erfährt, bei unveränderter Batterie sich verhält, wie das Quadrat der Elektricitätsmenge.

Die Temperaturerhöhung ist ferner dem Quadrate der Drahtquerschnitte, als auch der Dauer der Entladung umgekehrt proportional.

Die Dauer der Entladung hängt von der Länge des Schliessungsdrahtes ab, das Anwachsen der Länge desselben ist jener der Verzögerung proportional.

Riess fand auch, dass die verschiedenen Metalle eine verschiedene verzögernde Kraft haben.

Von der Erwärmung des Drahtes durch den Entladungsschlag wird besonders in der Sprengtechnik Gebrauch gemacht; näher einzugehen auf diesen Gegenstand ist einem anderen Bande vorbehalten.

Zersetzungen des Leiters.

Lassen wir den elektrischen Funken durch einen mit Glaubersalz getränkten Papierstreifen schlagen, der auf einem Dielectricum ruht, und benetzen das Ende, welches von dem Drahte des positiven Conductors berührt wird, mit einem Tropfen Lackmustinctur, so wird diese roth gefärbt, vollführen wir das Gleiche am anderen Ende mit Curcumatinctur, so verräth dessen Braun-

färbung, dass es alkalisch reagirt. Wir schliessen daraus mit Recht, dass unser Salz zersetzt worden ist.

Senken wir in's Wasser zwei Platindrähte ein und lassen die Funken überschlagen, so erhalten wir eine Gasentwicklung — ein Versuch, der schon vor 100 Jahren gemacht wurde — die um so kräftiger ist, je weniger Berührungsfläche der Draht dem Wasser darbietet, eine Erfahrung, die schon Wollaston gemacht hat, weshalb dieser die Drähte in Glas einschmelzen und nur die Enden wirken liess (Wollaston'sche Spitzen), indem er den Draht mit dem Glase eben feilte.

Schlägt der elektrische Funke durch Luft, so nehmen wir alsbald einen eigenthümlichen Geruch wahr, der gemeinhin als Phosphorgeruch bezeichnet wird, und von einer Ozonbildung herrührt, die eben auch der Phosphor einzuleiten im Stande ist.

Dass die Umwandlung des Sauerstoffes in Ozon wirklich stattfindet, beweist der Umstand, dass durch Jodkalium Stärkekleisterpapier gebläut wird.

Magnetisirung.

Lassen wir den Entladungsschlag einer Leydener Flasche durch eine Drahtspirale gehen, in der ein Stahlstäbchen liegt, so finden wir, dass dieses magnetisch geworden ist und seinen Südpol dort hat, wo der Strom, vom positiven Pol ausgehend, den Stab in der Uhrzeigerrichtung umkreist hat.

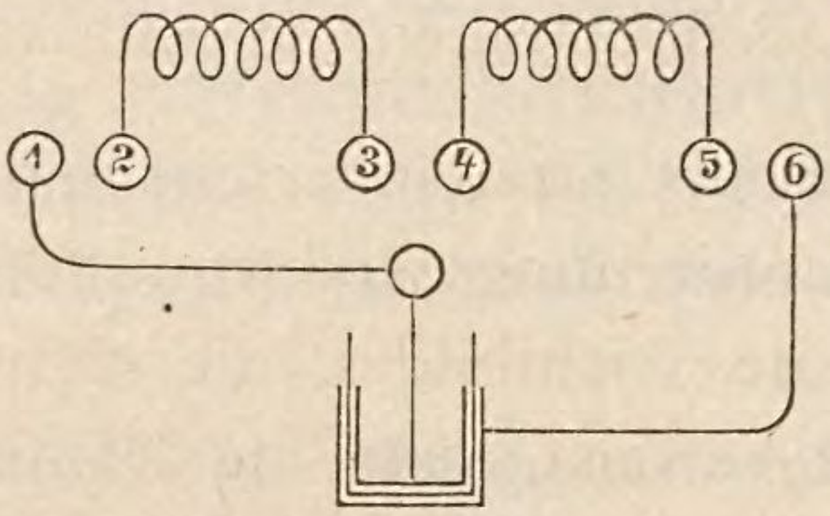
Wir dürfen uns nicht dadurch beirren lassen, dass diese Regel zuweilen nicht zuzutreffen scheint, dies rührt aber davon her, dass bei Theilentladungen der Flasche der Rückstand zuweilen das Zeichen wechselt, also der Strom verkehrt fliesst.

Dauer des elektrischen Funkens.

Ueber die Art und Weise, wie die Funken-Entladungen erfolgen, und über die Dauer, welche sie beanspruchen, geben einen möglichst vollkommenen Aufschluss die Versuche, welche Wheatstone um das Jahr 1835 anstellte.

Er versah ein etwa 10 Cm. breites Brett mit drei Kugelpaaren, die in einem gegebenen Augenblicke, mit einer Leydener Flasche so in Verbindung gesetzt werden konnten, wie in Fig. 7 angedeutet ist, dass eine Entladung derselben erfolgte und dabei die Elektricität gezwungen wurde, ihren Weg durch eine Luftstrecke von 2·5 Cm., dann durch viele Windungen in der Länge von $^1/_4$ englische Meile eines gut isolirten Drahtes zu nehmen, worauf abermals eine Luftstrecke von 2·5 Cm., dieser wieder Drahtwindungen und zum Schlusse wieder 2·5 Cm. Luftstrecke folgte.

Fig. 7.



Vor diesen sechs Kugeln war ein Spiegel aufgestellt, der in der Secunde sich 800mal um seine Axe drehen konnte. Stand er still und es erfolgte eine Entladung, so konnte der Beobachter in demselben drei in einer Linie liegende Funkenbilder wahrnehmen. Erfolgte die Drehung um seine Axe mit der angegebenen Geschwindigkeit, so sah man drei derartig gegeneinander verschobene Linien, dass die mittlere gegen die übrigen verrückt war. Was dies bedeutet, möge folgende Betrachtung klarlegen.

Wird ein Spiegel in drehende Bewegung versetzt, vor welchem sich eine Lichtquelle befindet (eine Kerze z. B.),

so gewahrt man, sobald die Drehungsgeschwindigkeit eine gewisse Grenze überschreitet, statt des Bildes eine helle Linie, weil von den einzelnen Bildern, die hintereinander auf unserer Netzhaut entstehen, die früheren noch nicht vor dem Entstehen der folgenden verschwunden sind. Bei 50 Umdrehungen in der Secunde durchläuft der Spiegel einen Bogen von $^1/_2$ Grad in $\frac{1}{100.360}$ Secunden, was für das Bild die doppelte Geschwindigkeit, also $\frac{1}{72000}$ ausmacht. Würde daher die Dauer der Lichterscheinung nur $\frac{1}{72000}$ Secunden betragen, so müsste das Bild $^1/_2$ Grad lang sein, also als Streifen erscheinen.

Erst die oben genannte Umdrehungszahl von 800 ergab jedoch eine Verlängerung des Lichtbildes, die nicht einmal $^1/_2$ Grad entsprach, was beweist, dass die Dauer der Lichterscheinung nicht einmal $\frac{1}{1600.720} = \frac{1}{1152000}$ Secunden beträgt.

Die Anordnung der drei Lichtbilder ergiebt vor Allem, dass die Bewegung der Elektricität gleichzeitig von beiden Belegen aus beginnt. Die Verschiebung des mittleren Bildes hingegen deutet an, dass die Zurücklegung des Weges von $^1/_4$ Meile eine gewisse Zeit beansprucht.

Da die Verschiebung gleichfalls $^1/_2$ Grad betrug, so kann für die Verzögerung auch das obige Verhältniss $\frac{1}{1152000}$ in Rechnung gezogen werden.

Daraus ergiebt sich, dass die Elektricität in einer Secunde einen Weg von 1,152.000 Viertelmeilen, d. i.

288.000 englische Meilen zurücklegt, was ungefähr 60.000 deutschen Meilen oder 463.400 Kilometern entspricht.

Feddersen, welcher diese Messungen auf noch viel vollkommenere Weise anstellte, fand, dass die Funkendauer eine hundertmal grössere sei, dabei bleibt aber zu berücksichtigen, dass er nur einen Theil des Funkenbandes, das er erhielt, nämlich jenen, der lichtstark und weiss war, als vom Funken selbst stammend annahm, während er den anschliessenden gelben und rothen Theil den nicht erkalteten, losgerissenen Metalltheilchen zuschrieb. Fizeau und Andere, vor Allem aber Werner Siemens haben eingehende Messungen über die Geschwindigkeit, mit welcher die Fortbewegung der Elektricität erfolgt, angestellt, während Kirchhoff selbe für eine Leitung ohne nennenswerthen Widerstand theoretisch berechnete.

Des Ersteren Untersuchungen ergaben 31.000 geographische Meilen oder ungefähr 240.000 Kilometer per Secunde, wenn der Leiter ein Eisendraht war; Letzterer fand einen um 10.000 Meilen höheren Werth, nach welchem die Fortpflanzung der Elektricität jener des Lichtes gleichkommt, natürlich, wie oben gesagt, für widerstandslose Medien, was einer obersten Grenze entspricht.

Anwendungen der elektrischen Influenzwirkung.

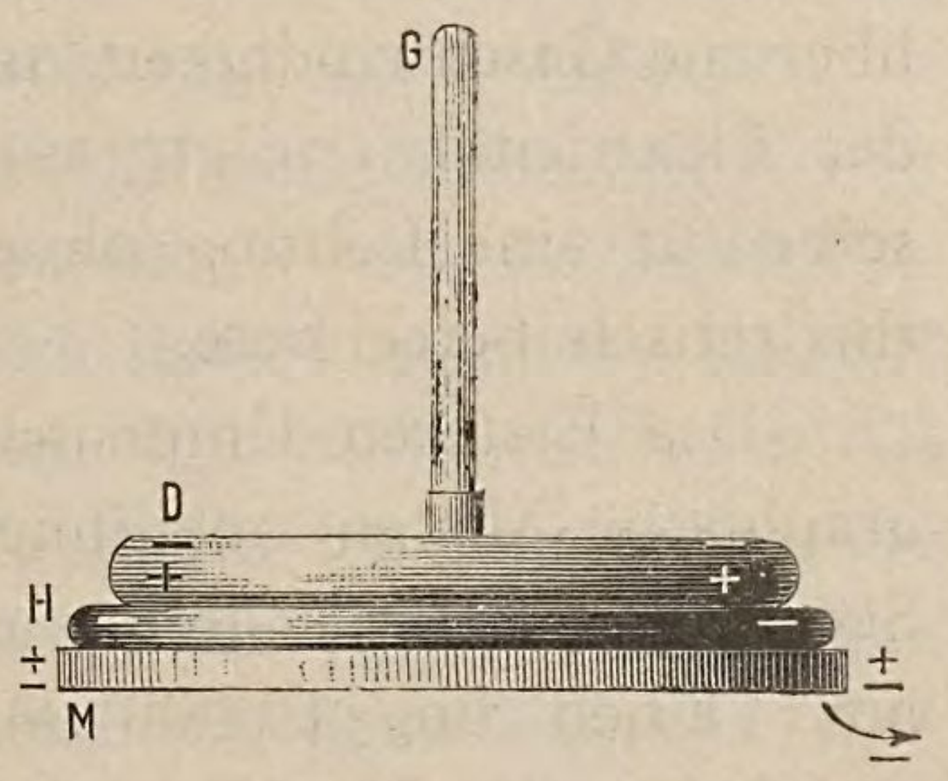
Elektrophor, Elektrophormaschine, Influenz-Elektrisirmaschine.

Die Elektricitätsentwicklung, welche bisher unsere Aufmerksamkeit in Anspruch genommen hat, trägt in sich selbst eine gewisse Unvollkommenheit in jener

Richtung, dass es uns unmöglich ist, zu bestimmen, wie viel von der aufgewendeten Arbeit wir durch Reibung in Wärme, wie viel in Elektricität umsetzen wollen, sondern dass wir Alles mehr oder minder dem Zufalle überlassen müssen.

In der eben kennen gelernten elektrischen Vertheilung hingegen scheint uns ein Mittel an die Hand gegeben zu sein, das uns gestattet, mit grösserer Genauigkeit vorzugehen, da wir bei derselben eigentlich keine andere Arbeit zu leisten haben, als die Anziehung der Elektricitäten zu überwinden, und wenn auch die Verhältnisse scheinbar anders liegen, so ist daran nur die Unvollkommenheit der Apparate schuld.

Fig. 8.



Der älteste hierher gehörige Apparat ist der Elektrophor, dessen Erfindung durch Wilcke im Jahre 1762 stattfand, den aber erst 1775 Volta als selbstständigen Apparat gebrauchte. Derselbe besteht dem Grundgedanken nach aus einem Collector *M*, auf dem ein Dielectricum *H* ruht, das durch Reiben ein- für allemal elektrisch gemacht wird, und einem Condensator *D*, der gewöhnlich die Bezeichnung Elektrophordeckel trägt (Fig. 8).

Durch das Reiben oder Schlagen mit Pelzwerk wird der Harzkuchen oder die Ebonitscheibe, welche als Dielectricum dient, negativ elektrisch. Diese negative Elektricität wirkt vertheilend auf die Unterlage, zieht die positive Elektricität an und stösst die negative ab; dies

erstere wirkt wieder zurück bindend auf die negative Elektricität des Kuchens. Ist der Elektrophor nicht isolirt aufgestellt, so wird die abgestossene negative Elektricität der Unterlage abgeleitet.

Setzen wir jetzt den Deckel auf, so findet, da dessen Oberfläche der elektrischen Schicht des Dielectricums viel näher als die Unterlage ist, eine neue Vertheilung statt. Die negative Elektricität der obersten Schicht zieht die positive des Deckels an und stösst die negative Elektricität ab, gleichzeitig wird aber auch in der Unterlage die positive Elektricität frei, da diese von der wirksamen Schicht weiter entfernt ist als der Deckel.

Verbinden wir jetzt Unterlage und Deckel, so findet eine Ausgleichung der Elektricitäten statt, indem sich die + Elektricität der Unterlage mit der — Elektricität des Deckels vereinigt. Heben wir nun den Deckel isolirt ab, so ist in demselben nur mehr freie positive Elektricität vorhanden und die negative Elektricität des Dielectricums kann sofort wieder auf die Unterlage vertheilend wirken. Wir könnten auch die metallische Unterlage ganz weglassen und blos durch Auflegen des Deckels und Ableiten der abgestossenen negativen Elektricität die positive in demselben frei machen, indem wir sodann den Deckel entfernen.

Wir haben aber dann immer freie Elektricität an der Harzoberfläche, welche leicht theils selbst in den Deckel übergeht und theils sich verflüchtigt, während sie sonst durch die Unterlage gebunden ist.

Die metallische Unterlage ist ferner von Vortheil bei dem Elektrisiren des Harzkuchens. Ist dieselbe nicht vorhanden, so hat der Kuchen bald die Grenze seiner freien Ladung erreicht, und alle später durch Reibung erzeugte

negative Elektricität geht an das Reibzeug über, nicht so aber, wenn die Metallunterlage vorhanden ist und ihre negative Elektricität abgeleitet wird, weil dann die negative Elektricität des Kuchens durch die positive der Unterlage gebunden, also die Grenze der Ladung weiter hinausgerückt wird. Das immerwährende Berühren und Abheben des Deckels hat gewiss etwas sehr Lästiges in sich, auch gelingt es auf diesem Wege nicht, eine grössere Elektricitätsmenge zu erhalten, und es ist daher nicht zu verwundern, dass verschiedene Physiker bestrebt waren, diesem Uebelstande zu entgehen.

Schon um das Jahr 1816 hat Volta ein Verfahren angegeben, durch welches man dem letzteren Uebelstande entgehen könnte. Sein Vorschlag ging dahin, zwei Elektrophore in Gebrauch zu nehmen, den einen durch Reiben elektrisch zu machen, den Deckel zu laden und dann auf den zweiten Harzkuchen aufzusetzen. Die Ladung des Deckels unseres zweiten Elektrophors könnte dann dazu benutzt werden, den ersten wieder stärker zu laden; aber auch dieses Verfahren ist sehr umständlich.

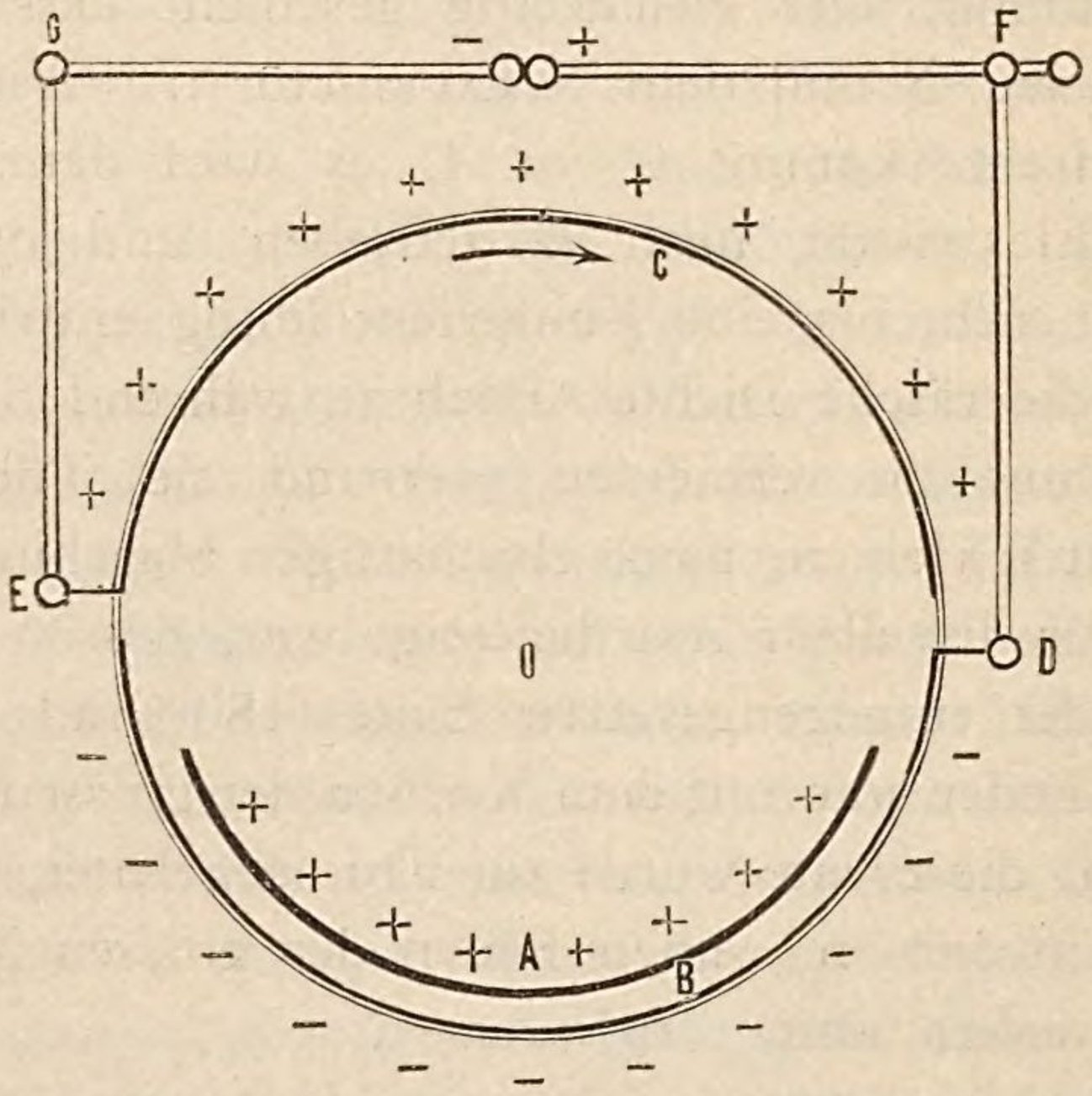
Wir könnten nun noch mehrere Vorschläge anführen, wollen aber, um kurz zu sein, sofort auf eine praktische Umgestaltung des oben ausgesprochenen Gedankens übergehen, welche wir Töpler verdanken.

Dieser bekannte Physiker stellte um das Jahr 1865 die oben erwähnten beiden Elektrophordeckel gewissermassen um eine Axe drehbar auf, indem er eine wagrecht liegende Glasscheibe mit zwei Stanniol-Belegen versah, unter welcher der Elektrophor, der entweder aus einer Metallplatte oder ebenfalls mit Stanniol belegten Glastafel bestand, zu einem Beleg entsprechend möglichst nahe angebracht war.

Da es sich in diesem Buche nur darum handelt, stattfindende Vorgänge zu erklären und in einem späteren Bande die Apparate selbst eingehend beschrieben werden, wollen wir uns hier eines übersichtlichen Diagrammes bedienen (Fig. 9).

Es sei *A* der als Cylinder-Abschnitt gedachte Kuchen (die Metallplatte oder Glasplatte mit Beleg), der inner-

Fig. 9.



halb eines Glascylinders angebracht ist, welcher sich um *O* dreht und der mit den Belegen *B* und *C* versehen sei, die am Rande übergreifen. *D* ist eine Feder, welche auf dem Beleg *B*, und *E* eine solche, die auf *C* schleift. *D* und *E* sind mit Conductoren *F* und *G* verbunden.

A wirkt nun, wenn es + geladen ist, auf *B* vertheilend, so dass im Beleg die — Elektricität angezogen und die + Elektricität nach *F* getrieben wird. *F* kann nun sogleich vertheilend auf *G* wirken, wodurch in das

Beleg C + Elektricität strömt. Wird nun in der Richtung des Pfeiles gedreht, so wird die Verbindung zwischen B und D, wie auch zwischen C und E unterbrochen; wir haben dann den Conductor F mit einer + Ladung, das Beleg B mit einer — Ladung, den Conductor G mit — Ladung und das Beleg C mit einer + Ladung.

Drehen wir weiter, so kommt das + C in Berührung mit der Feder D des + Conductors F, verstärkt also dessen Ladung, und gleichzeitig geschieht dasselbe mit dem — Beleg B und dem — Conductor G. Wird noch weiter gedreht, kommt C vor A, es wird dann neuerdings + Elektricität nach E getrieben und das Spiel wiederholt sich, bis eine Funkenentladung eintritt.

Um die rasche Dichte-Abnahme während der Ruhe der Maschine zu vermeiden, verband sie Töpler mit einer zweiten kleinen, ganz gleichartigen Maschine, deren Scheibe auf derselben Axe befestigt war, dessen Kuchen aber auf der entgegengesetzten Seite (180 Grad verdreht) lag. Eine Feder war mit dem Kuchen der grossen Scheibe verbunden, die zweite wurde zur Erde abgeleitet, während der Kuchen mit der einen Feder der grossen Maschine in Verbindung stand.

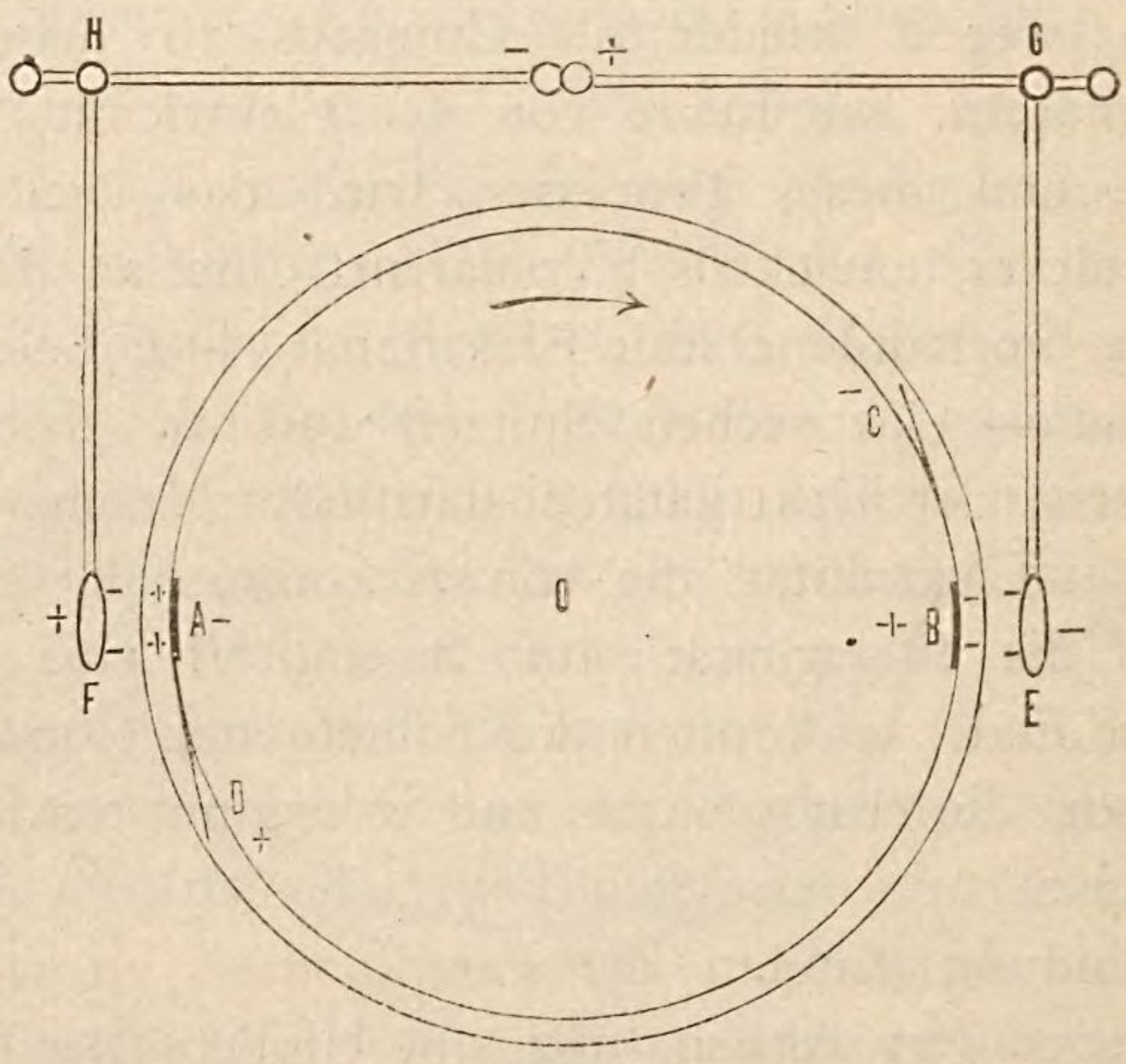
Eine andere Anwendung hat Holtz ersonnen, die eine grosse Verbreitung gefunden hat und deren Wirkungsweise wir gleichfalls mit Hilfe eines Diagrammes erklären wollen (Fig. 10).

Vor Allem hat Holtz die Anwendung eines Beleges auf der rotirenden Scheibe gänzlich vermieden, dafür aber zwei Harzkuchen, die aber hier nur Papierbelege A und B einer ruhenden Glasscheibe sind, verwendet, welche beide mit Saugspitzen C und D versehen sind. Diesen Belegen gegenüber stehen jetzt statt den Federn

zwei Saugkämme *E* und *F*, welche mit den Conductoren *G* und *H* verbunden sind.

Wird nun dem Beleg *A* — Elektricität zugeführt, so wird nicht nur in dem Glascylinder, der sich um *O* dreht, die + Elektricität gegen *A* hin angezogen, oder, weil es ein Dielectricum ist, findet eine solche Polarisation statt, dass seine Moleküle, die + Enden *A* zukehren, son-

Fig. 10.



dern auch in *F* findet eine Influenzwirkung statt, so dass + Elektricität angezogen und — Elektricität gegen *H* getrieben wird, von wo sie, wenn die Kugeln in Berührung sind, bis *E* fortgeht, dort theilweise auf den Cylinder überströmt, das Dielectricum polarisirt und endlich auch in *B* eine Influenzwirkung hervorbringt, so dass sich *B* positiv ladet und — Elektricität zur Spitze *C* strömt.

Dreht sich nun der Cylinder in der durch den Pfeil angedeuteten Richtung, so kommen die mit + Elektricität beladenen Stellen gegen die Spitze *C*, wirken auf dieselbe vertheilend, verstärken dadurch die + Elektricität in *B*, wodurch wieder die — Elektricität in *E* vermehrt und mehr + Elektricität nach *F* getrieben wird. Gleichzeitig kommen aber auch die negativ geladenen Stellen gegen die Spitze *D*, rufen dort dieselbe Wirkung im entgegengesetzten Sinne hervor, was des Zeichenwechsels wegen wieder als Zuwachs zu nehmen ist (Wiedemann, Die Lehre von der Elektricität).

Während dieses Processes wird das Dielectricum immer stärker, dielektrisch polarisirt, die an der Glasoberfläche vorhandene freie Elektricität + *E* bei *A* wird gegen die — elektrischen Spitzen geführt, wobei eine Vereinigung der Elektricitäten stattfindet; ebenso ist dies bei der — Elektricität, die von *E* kommt, der Fall.

Hat die Elektricität auf *A* und *B* eine gewisse Dichte erlangt, so können die Kugeln der Conductoren voneinander entfernt werden und es beginnt ein lebhaftes Funkenspiel.

Sobald die Kugeln der Conductoren zu weit auseinander gezogen werden, tritt eine Umkehr der Polarität ein, die man deutlich daran erkennt, dass dort, wo früher Büschellicht an den Kämmen war, sich blos leuchtende Punkte zeigen.

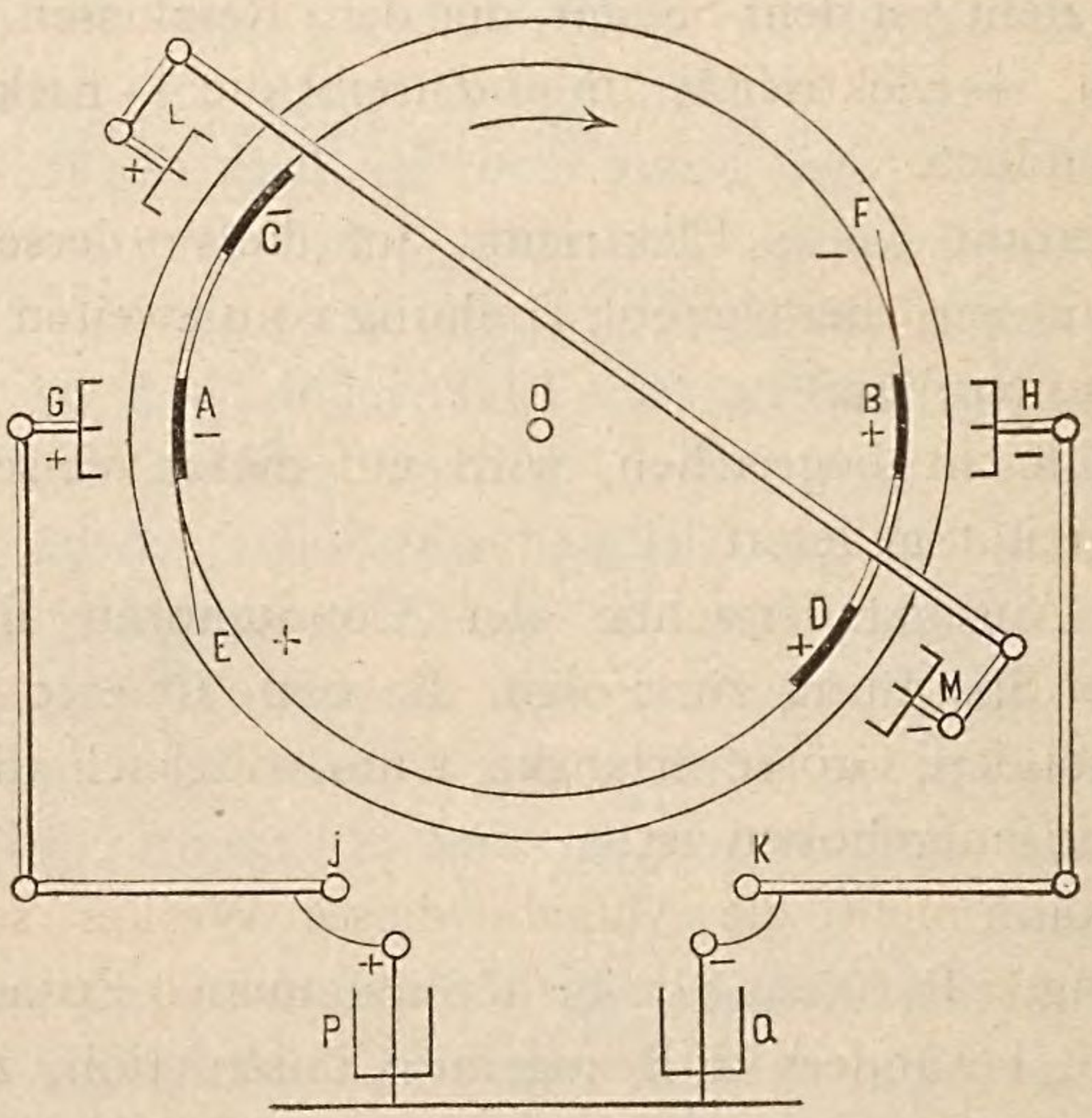
Die Ursache der Umkehr liegt in der nach und nach stärker werdenden Ladung der Conductoren, wodurch die von *A* an der Aussenseite kommende + Elektricität nicht mehr bei *E* vernichtet, sondern bis zur Spitze *D* fortgeführt wird, wodurch statt + Elektricität — Elektricität auf die Scheibe strömt, was eine + Ladung von

A verursacht oder die negative Ladung vernichtet, in welchem Falle die Maschine aufhört zu wirken.

Diesem Uebelstande kann natürlich dadurch entgegengewirkt werden, dass wir *A* und damit die Ladung vergrössern.

Dies wurde denn wirklich ausgeführt und ausserdem noch ein sogenannter Diametralsauger *M* angebracht

Fig. 11.



(Fig. 11), der die überführten Elektricitäten ausgleicht.

Die Wirkung zu verstärken, können, wie in der Fig. 11 angedeutet ist, die Conductoren mit Leydener Flaschen, Condensatoren *P* und *Q*, verbunden werden, deren äussere Belege miteinander in Verbindung stehen.

Kundt vermeidet die Umkehr dadurch, dass er die Influenz-Elektrisirmaschine zugleich zur Reibungsmaschine

macht, indem er hinter einem der Sauger ein Reibkissen mit einem Seidenflügel von der Länge eines Quadranten anbringt, wodurch die zweite fixe Scheibe, an der sonst die Belege angebracht sind, ganz entfällt.

Indem die Scheibe auf der Hinterseite + elektrisch wird, zieht sie beim nächsten Sauger die — Elektricität aus der Spitze auf die Vorderseite und die + Elektricität geht in den Conductor, die — Elektricität der Scheibe hingegen zieht bei dem Sauger, der dem Reibkissen gegenüber steht, + Elektricität an und treibt die — Elektricität in den Conductor.

Es strömt die + Elektricität auf die Vorderseite der Scheibe und wird bei weiterer Drehung vom zweiten Sauger aufgenommen.

Wie leicht begreiflich, wird auf diese Weise mehr + Elektricität geliefert.

Das Auseinanderziehen der Conductoren hat ein Sinken der Spannung zur Folge, die ohne Querconductor keine besondere Grösse erlangen kann, obgleich die Umkehr völlig aufgehoben ist.

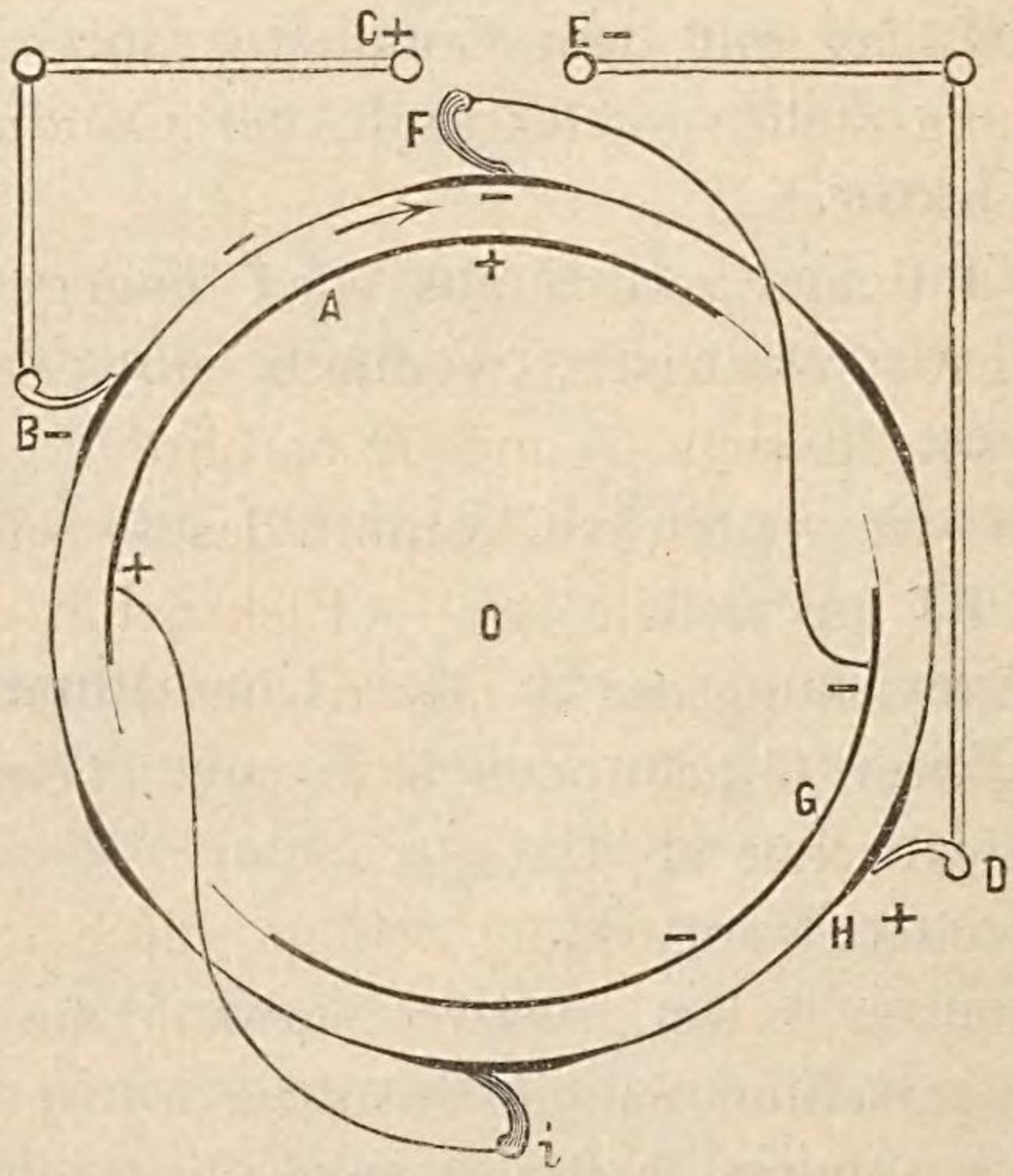
Es kann nicht die Aufgabe dieses Werkes sein, in seinem engen Rahmen alle bisher ersonnenen Zusammenstellungen, besonders in Bezug auf Construction, zur Besprechung zu bringen, wir glauben unsere Pflicht erfüllt zu haben, indem wir den Grundgedanken derselben klarlegen.

Wir wollen nur noch erwähnen, dass Holtz auch Elektrophormaschinen ersonnen hat, die gar keine Belege besitzen. Diese beruhen darauf, dass zwei Scheiben in entgegengesetzte Drehung versetzt werden. Die Sauger der zwei Scheiben stehen dann gegeneinander in einen Winkel von 90 Grad verdreht, d. h. ihre Verbindungslinien schneiden sich in einem rechten Winkel.

Poggendorff hat endlich zwei Maschinen erster Art miteinander verbunden; auch wurden Zusammenstellungen ersonnen, bei welchen eine fixe und zwei rotirende Scheiben in Anwendung kommen.

Töpler stellte ferner Maschinen zusammen, die mit mehrfachen Erregungsstellen versehen sind, dadurch, dass

Fig. 12.



die rotirende Scheibe Metallbelege in grösserer Anzahl trägt, deren Ladung durch Influenz der fixen Scheibe bewirkt und von Bürsten aufgenommen wird.

Endlich sind bei solchen Maschinen auch Sauger neben den Bürsten in Anwendung gekommen, indem die Sauger mit einem kleinen Bürstchen in Verbindung gebracht sind, was nach Töpler eine Steigerung der Ladung erreichen lässt.

Fig. 12 zeigt eine solche Maschine, bei welcher die fixe Scheibe getheilt ist, um einen Uebergang der Elektricitäten von einem Beleg zum anderen zu verhindern, deren Ladung immer verstärkt wird, da sie beständig von zwei Bürsten gespeist werden, die auf der rotirenden Scheibe schleifen.

Das Spiel ist etwa folgendes (Fig. 12):

Wir theilen *A* eine + Ladung mit, dadurch wird das Beleg *B*, das mit dem Conductor durch die Bürste in Verbindung steht, — elektrisch, der Conductor *C* hingegen + elektrisch.

Durch Influenz von *G* aus wird hingegen *D* positiv und *E* negativ elektrisch, wodurch eine Ausgleichung stattfindet, sobald sich *C* und *E* berühren.

Drehen wir weiter, so kommt das — elektrische *B* zur Bürste *F*, an welche es — Elektricität abgiebt, da durch die Einwirkung der + elektrischen Bürste ein Theil der Ladung von *G* gebunden ist; ganz ebenso giebt *H* an *A* + Elektricität ab.

Eine weitere Verstärkung erfolgt durch die Wirkung der Glasscheiben selbst, welche sie auf die nebst den Bürsten angebrachten Sauger ausüben.

Bei fortgesetzter Drehung wird die Ladung von *A* und *G* immer stärker, ihr Potentialniveau steigt und damit auch jenes der Elektroden, wodurch es erklärlich ist, warum eine sehr schwache Ladung von *A* und *G* genügt, um die Maschine in Thätigkeit zu setzen, ja dass häufig hierzu die Reibung der Bürsten ausreicht, weshalb sich diese Maschinen selbst anregen können.

Töpler hat derartige Maschinen mit 20 Scheiben zusammengestellt, die bei 22 Umdrehungen der 26centimetrigen Scheiben in der Secunde und einem Arbeitsaufwand von

4 Kg. einen Strom von 0·0081 absoluten Einheiten lieferten. Die Stromstärke war nahezu der Drehungsgeschwindigkeit proportional (Wiedemann, Lehre von der Elektricität).

Zum Schlusse wollen wir noch bemerken, dass Influenzmaschinen erster Art dadurch in Drehung versetzt werden können, wenn in die auseinandergezogenen Conductoren Elektricität eigeleitet wird.

Condensatoren. Duplicator.

Nach dieser kurzen Abschweifung kehren wir wieder zu unseren Condensatoren zurück, um weitere Anwendungen derselben zu besprechen.

Sehr häufig werden Condensatoren blos aus Papier und Stanniol oder auch dünnem Guttapercha und Stanniol verfertigt, welche derartig hergestellt sind, dass sie recht grosse Oberflächen darbieten; von diesen werden wir später noch Gelegenheit haben zu sprechen.

Der Condensator wird jedoch auch dazu benutzt, um kleine Elektricitätsmengen einer Messung oder Untersuchung auf ihre Art zugänglich zu machen. Ein Apparat vorzüglichster Art ist jener, dessen Construction von Kohlrausch angegeben wurde. Es würde uns zu weit führen, selben zu beschreiben, und verweisen wir diesbezüglich auf den Band mit den Mess-Apparaten. Ein anderer Apparat dieser Art heisst Condensator oder Duplicator.

Sehr häufig werden diese sofort mit einem Elektroskope in Verbindung gebracht oder sind sogar ein wesentlicher Bestandtheil desselben.

Das Elektroskop (Fig. 13) besteht aus einem Glasgefäss, in welches ein Metallstab eingesenkt ist, der an seinem unteren, abgeflachten Ende zwei feine Gold- oder Aluminiumplättchen trägt, während das obere Ende mit einem Gewinde versehen ist, um eine runde Metallplatte anschrauben zu können, die zuweilen mit einer dünnen Harzschicht überzogen ist. Auf diese Platte kann eine ganz gleich grosse zweite Platte, die in der Mitte mit einem Glasstiel versehen ist, um sie isolirt abheben zu können, aufgesetzt werden. Sind die Platten ohne Harzüberzug, so werden sie an drei Stellen mit Paraffinpünktchen versehen, welche einer metallischen Berührung vorbeugen, oder eine sehr dünne Glasplatte wird zu dem gleichen Zwecke benutzt.

Fig. 13.

Wollen wir eine schwache Elektricitätsquelle untersuchen, so setzen wir die zweite Platte auf und berühren dieselbe ableitend, während wir die untere Platte, den Collector, mit der Elektricitätsquelle in Verbindung setzen, worauf derselbe Vorgang der Ladung stattfindet, den wir bereits schon bei den Accumulatoren beschrieben haben.

Heben wir jetzt die obere Platte ab, nachdem wir die Ableitung unterbrochen und von dem Collector die Elektricitätsquelle entfernt hatten, so ist die untere Platte bedeutend stärker geladen.

Die gebunden gewesene Elektricität wird frei, strömt in die Goldplättchen und bringt dieselben dahin, einander abzustossen, und zwar stärker, als die Elektricitäts-

quelle allein dies veranlasst hätte. Bei diesem Versuche ist die Vorsicht zu gebrauchen, dass die Platten möglichst parallel voneinander entfernt werden.

Volta's Fundamentalversuch.

Wenden wir eine Collectorplatte aus Zink an, welche nicht mit einem Harzüberzug versehen ist, und setzen eine Condensatorplatte aus Kupfer auf, welche ebenfalls eine metallische Oberfläche hat, ohne auch die Glastafel dazwischen zu legen, und entfernen sodann wieder die Kupferplatte, so können wir, wenn die Verhältnisse günstig sind, auch eine schwache Divergenz der Goldplättchen beobachten, trotzdem wir an die Collectorplatte keine Elektricitätsquelle angelegt hatten.

Nach diesem Versuche sind wir wohl berechtigt, anzunehmen, dass in unserem Apparate selbst eine Elektricitätserregung stattgefunden haben muss.

Nähern wir der Collectorplatte langsam eine geriebene Harzstange, also negative Elektricität, so vermindert sich der Ausschlag, ein Zeichen, dass die Goldplättchen mit positiver Elektricität geladen sind.

Der Vorgang ist folgender: Bei der Annäherung der negativ elektrischen Harzstange findet zwischen Collector und Goldplättchen eine Vertheilung der Elektricität derartig statt, dass im Collector die positive gebunden, die negative, also die gleichnamige, in die Goldplättchen getrieben wird, wo sie einen Theil der vorhandenen, die Abstossung bewirkenden positiven Elektricität vernichtet, also die Divergenz der Plättchen vermindert.

Damit nicht durch die Neuvertheilung mehr negative Elektricität als nothwendig in die Goldplättchen getrieben wird, ist die langsame Annäherung des Harzstabes geboten.

Kehren wir die Platten um, so finden wir auch das Elektroskop entgegengesetzt geladen.

Nehmen wir gefirnisste Condensatorplatten, verbinden aber die blanken Aussenseiten durch einen Metalldraht, den wir auch isolirt halten können, so findet im Sinne des obigen Versuches ebenfalls eine Divergenz der Goldplättchen statt, sobald wir die Condensatorplatte abheben. Die Grösse der metallischen Berührungsfläche scheint daher gleichgiltig zu sein; wiederholen wir den Versuch, jedoch so, dass wir die blanken Metallplatten nun theilweise einander berühren lassen, um zu erproben, ob unsere letzte Voraussetzung richtig sei, so erhalten wir gar keinen Ausschlag, was wir dahin deuten können, dass es bei dem Versuche wesentlich auch auf eine condensatorische Wirkung der Platten ankommt — eine Ansicht, die noch durch folgenden Versuch bestätigt wird.

Haben wir abermals gefirnisste Platten aufgesetzt, ferner zwei mit Glasstielen versehene Kupfer- und Zinkplatten zur Hand, die wir aneinanderlegen, trennen und mit der Zinkscheibe den Zinkcollector, mit der Kupferscheibe den Kupfercondensator berühren, so ergiebt das erste Anlegen sehr oft gar keine Divergenz der Goldplättchen; wird jedoch das Trennen und Anlegen zwanzigmal wiederholt, so können wir ein starkes Auseinanderweichen erzielen.

Der Vermuthung zu begegnen, dass etwa das Reiben der verschiedenen Metalle aneinander eine Quelle der Elek-

tricität sei, setzen wir abermals die eben gebrauchten gefirnissten Platten aufeinander und berühren ihre blanken Aussenseiten mit einem Metallstreifen, der aus einem Zink- und einem Kupferblech besteht, die an der schmalen Seite aneinander genietet sind. Das Anlegen erfolgt so, dass Zink mit Zink, Kupfer mit Kupfer in Berührung kommt. Auch dieser Versuch zeigt eine Elektricitätserregung an.

Spannungsreihe.

Ersetzen wir endlich die Kupfer- und die Zinkplatte durch andere Metalle, so ergeben sich für dieselben verschieden grosse Ausschläge.

Nach einer Reihe sorgfältig angestellter Versuche gelang es Volta, von dem einige der eben angeführten herrühren, die Metalle und andere Stoffe, wie nachstehende Reihe angiebt, ihrer Wirksamkeit entsprechend zu ordnen: + Zink, Blei, Zinn, Eisen, Kupfer, Silber, Gold, Kohle, Graphit, Braunstein. Diese Reihe hat, wie Volta fand, folgende weitere Eigenthümlichkeiten:

Legen wir einer Zusammenstellung, z. B. Blei-Zinn, den Werth 1 bei und versuchen dann nacheinander vergleichend die Kraft der anderen, so ergiebt sich

Zink-Blei = 5	5
Blei-Zinn = 1	1
Zinn-Eisen = 3	3
Eisen-Kupfer = 2	2
Kupfer-Silber =	1
Die Summe aller also =	12

Nehmen wir das erste und letzte Glied dieser Kette, Zink und Silber, so finden wir, dass auch Zink-Silber giebt: = 12

Diese Gesetzmässigkeit hat Giltigkeit, welches Glied der Kette auch benutzt wird.

Volta stellte dieser Erfahrung gemäss den Satz auf:

Zwei Glieder der Spannungsreihe ergeben, miteinander in Berührung gebracht, eine elektromotorische Kraft, welche gleich ist der Summe aller elektromotorischen Kräfte der Zwischenglieder.

Erklärung des Fundamentalversuches.

Zur Erklärung der eben vorgeführten Elektricitätserregung wurden verschiedene Theorien aufgestellt, welche wir nach der Aufeinanderfolge ihres Entstehens besprechen wollen.

Volta war der Erste, der einen Erklärungsgrund für diese Art Elektricitätsentwicklung aufgefunden zu haben glaubte. Bis in die neueste Zeit hat auch seine Anschauung, abgesehen von einigen nothwendig gewordenen Zusätzen, zahlreiche Vertheidiger gehabt.

Von seinem Fundamentalversuche, der darin bestand, dass er zwei verschiedenartige Metalle, welche Scheibenform hatten, aufeinanderlegte, ausgehend und darauf fussend, dass sich diese Scheiben in entgegengesetzt elektrischem Zustande befanden, sobald er sie unter Benutzung isolirter Handhaben trennte, nahm er an, die Berührung zweier Metalle genüge, die entgegengesetzten Elektricitäten zu trennen, gerade so wie das Reiben gewisser Körper. Der plattenförmigen Gestalt der Erreger legte er nur deshalb einen Werth bei, weil durch die dabei auftretende condensatorartige Wirkung die ursprünglich schwache

Erscheinung verstärkt und dann erst ein Erkennen derselben möglich wurde.

Volta auch war es, der weiter die Beobachtung machte, dass nicht einmal unmittelbare Berührung der Platten nöthig sei, sondern dass es genüge, beide möglichst zu nähern und dann mit einem metallischen Leiter zu verbinden — ein Versuch, den wir ebenfalls vorgeführt haben. Im Verlaufe der weiteren Versuche gelangte er zur Aufstellung der sogenannten Spannungsreihe, welche dem zuletzt erwähnten Vorgange den Schein des Widerspruches nimmt.

Unter der Annahme, dass den verschiedenen Metallen verschiedene Anziehungskräfte für die Elektricitäten innewohnen, suchte Helmholtz um die Mitte unseres Jahrhunderts eine eingehende Erklärung der Erscheinung zu geben und stützte sich dabei auf die von uns schon angeführte Symmer'sche Annahme, dass jeder unelektrische Körper gleiche Mengen positiver und negativer Elektricität enthält.

Für ihn ist die Spannungsreihe der Metalle eine Anordnung derselben, die angiebt, welches Metall gegen das vorhergehende eine stärkere Anziehungskraft für die negative oder positive Elektricität habe.

Legen wir eine Zinkscheibe auf eine Kupferscheibe, so wird das Zink, weil es auf die positive Elektricität stärker anziehend wirkt als das Kupfer, aus diesem positive Elektricität aufnehmen, bis wieder ein Gleichgewichtszustand hergestellt ist. Trennen wir sodann beide Scheiben oder unterbrechen die Verbindung, so wird das Zink mehr positive Elektricität als im unelektrischen Zustande enthalten, also positiv erscheinen, während beim Kupfer der entgegengesetzte Fall vorhanden ist.

De la Rive, welchem diese Erklärung der Elektricitätserregung nicht genügte, stellte bald nach Helmholtz eine neue Theorie auf, indem er annahm, dass jeder chemische Process eine Elektricitätsquelle sei und ganz besonders bei dem Volta'schen Fundamentalversuch eine Elektricitätserregung durch Oxydation des einen Metalles erfolge, zu welcher Annahme ihn wohl die grosse Uebereinstimmung geführt haben dürfte, welche zwischen der Aufeinanderfolge der Glieder in der Spannungsreihe mit jener in der Reihe der Oxydirbarkeit herrscht.

Gegen diese sogenannte chemische Theorie wurde durch Pfaff und Andere der Einwurf gemacht, dass ihr zufolge in Gasen, welche keine chemische Veränderung der Oberflächen hervorbringen, der Volta'sche Versuch nicht gelingen dürfte, was aber nicht zutrifft.

Freilich haftet eine Feuchtigkeits- oder Gasschicht an ebenen Metallflächen sehr fest, im Vacuum aber oder in einem indifferenten Gase müsste dieselbe doch nach einiger Zeit aufgezehrt sein, und dennoch verlieren derartige Platten nicht ihre Eignung, zum Volta'schen Fundamentalversuche mit Erfolg dienen zu können.

Ferner aber, und dies scheint ein gewaltiger Gegenbeweis zu sein, sind die beobachteten Spannungen nur halb so gross als sie der Theorie zufolge sein müssten.

J. Brown zeigte nun aber thatsächlich, dass, wenn Metalle von Gasen angegriffen werden, eine Elektricitätsentwicklung stattfindet, die ebenso lange währt als die chemische Einwirkung statt hat. Dies durch einen Versuch klarzulegen, benutzte er einen Ringelektrometer nach Thomson, dessen Halbringe aus Kupfer und Nickel angefertigt waren. In der Luft zeigte der Nadelausschlag immer an, dass Kupfer elektronegativ sei; wurde jedoch

die Luft durch gasförmige Chlorwasserstoffsäure ersetzt, so wurde es plötzlich elektropositiv. Erfolgte eine schwächere Einleitung des Gases, so verringerte sich auch nach und nach der Nadelausschlag.

Gleichzeitig mit Brown, jedoch messend, beschäftigte sich Franz Exner mit diesem Gegenstande und gelangte zu nachstehender Erklärung des Volta'schen Fundamentalversuches.

Ausgehend von der Annahme, die Elektricitäts-Erregung erfolge durch chemische Einwirkung von Gasen oder Flüssigkeiten, und gestützt darauf, dass sich alle oxydirbaren Metalle in ausserordentlich kurzer Zeit mit einer festhaftenden Oxydschicht bedecken, die unter Elektricitätsentwicklung gebildet wird, liegt nahe, anzunehmen, der Fundamentalversuch gehe auf folgende Weise vor sich:

Bei der Oxydation wird das Metall negativ und das Oxyd positiv elektrisch. Da letzteres einer weiteren Einwirkung der Luft hinderlich ist, findet auch keine fernere Fortentwicklung der Elektricität statt; weil das Oxyd aber auch zugleich ein Isolator ist, so haftet die vorhandene Elektricität fest und findet keine Neuvertheilung statt.

Nehmen wir an, das Metall wäre isolirt, so wird es das Potential $-E$ erhalten, während das des Oxydes $+E$ sein wird, was einer Potentialdifferenz von $2E$ gleichkommt.

Verbinden wir das Metall mit der Erde durch einen Leiter, so wird das Potential des Leiters den Werth Null erhalten, seine Ladung bleibt jedoch grösstentheils gebunden, die Elektricitätsvertheilung in der Oxydschicht bleibt ganz die alte gleichförmige, sie hat das Potential $+E$ (so lange die Versuche mit Kugeln oder Platten

angestellt werden). Setzen wir die oxydirte Platte auf eine reine Metallplatte auf, so erhalten wir durch Influenz die herrschende Potentialdifferenz E was dem halben Werth der Oxydationswärme des oxydirten Metalles entspricht.

Sind beide Platten aus oxydirbaren Metallen hergestellt und hat das Oxyd des einen das Potential E und das Andere das Potential e, so entspricht unzweifelhaft der Differenz $E - e$ die Ladung des Condensators; hätten wir mehrere Metalle M_1, M_2, M_3 mit den Potentialen E_1, E_2, E_3, so giebt $E_1 - E_2$ die Ladung des Condensators M_1 M_2; $E_2 - E_3$ jene der Metalle M_2, M_3; also $E_1 - E_3$ auch die der Metalle M_1, M_3, was ganz dem Volta'schen Spannungsgesetz entspricht, freilich nur deshalb, weil dieses auf Experimente gestützt aufgestellt wurde.

Nähern wir der oxydirten Zinkplatte, welche isolirt aufgestellt ist, eine gleichfalls isolirte Platinplatte, nachdem wir beide zur Erde abgeleitet hatten, so erhält das Platin durch Influenz ein positives Potential, das Zink ein negatives, weil ja im Platin von der + Elektricität der Oxydschicht negative Elektricität gebunden, also + Elektricität frei wird, hingegen im Zink die bisher von der + Elektricität der Oxydschicht gebundene — Elektricität frei wird.

Legen wir nun einen Leiter an beide Platten an, so findet eine Ausgleichung statt, wodurch das Potential der Metalle Null wird und nur dort, wo sie an die Oxydschicht angrenzen, während der Condensator geschlossen ist, einen Sprung zeigt; da die Potentiale auf Null gebracht sind, also das Potential der Erde haben, hätte sich das Gleiche ergeben, wenn wir beide Metalle sofort mit der Erde verbunden, also abgeleitet hätten.

Wird die Platinplatte abgehoben, so zeigt sich, dass sie freie — Elektricität enthält, während das Zink positiv elektrisch ist, was ja davon herrührt, dass wir einen Theil der negativen Elektricität abgeleitet, somit das Gleichgewicht gestört haben.

Wir sehen also, dass der ganze Volta'sche Fundamentalversuch auf eine einfache Influenzwirkung zurückzuführen ist, hervorgerufen durch die festanhaftende positive Elektricität der Oxydschicht, welche bei einer früheren Gelegenheit durch die Oxydation erzeugt wurde, wodurch der Versuch gerade so verläuft, als hätten wir bei zwei Messing- oder Platinplatten, die gefirnisst oder durch Glas getrennt sind, einer derselben früher Elektricität aus irgend einer Quelle mitgetheilt. Der Versuch zeigt auch wirklich, dass die Zinkplatte (das oxydirbare Metall) positiv, das andere negativ elektrisch ist.

Während alle vorher angeführten Theorien eine Prüfung in quantitativer Beziehung nicht zulassen, gestattet die chemische Theorie in jener Gestalt, in welche sie Exner gebracht hat, aus den bekannten Oxydationswärmen die erzeugten Potentiale direct zu berechnen, was gewiss als eine mächtige Stütze der Theorie angesehen werden darf.

Elektricitätserregung zwischen festen Körpern und Flüssigkeiten.

Unsere Versuche mit dem Elektroskope setzen wir wie folgt weiter fort, indem wir die Zinkplatte, welche den Collector bildet, mit einer Glasplatte bedecken, die, so

weit als die Collectorplatte reicht, auf der oberen Seite mit einem Wachsrand versehen ist, um auf derselben eine dünne Flüssigkeitsschicht ausbreiten zu können, welche uns jetzt die Stelle des Kupfercondensators vertreten soll.

Nun berühren wir gleichzeitig mit einem isolirt gehaltenen Zinkdraht sowohl die Flüssigkeit als auch die blanke Unterseite der Zinkscheibe. Heben wir nach der Entfernung des Zinkdrahtes die Glasplatte ab, so erhalten wir ebenfalls eine Abstossung der Goldplättchen, die bedeutend stärker ist, wenn wir eine Salzlösung oder eine Säure statt dem Wasser anwenden, jedesmal aber von negativer Elektricität herrührt.

Der Versuch gelingt aber auch, wenn wir zwei gleichartige gefirnisste Condensatorplatten aufeinandersetzen, den Collector mit einem Zinkstab in Verbindung bringen, der in eine verdünnte Säure taucht und diese gleichzeitig durch Einsenken eines Platindrahtes, den wir mit der Erde verbinden, ableiten, damit die Elektricität des Zinkstabes in die Collectorplatte übergehen kann.

Heben wir die Condensatorplatte ab, so erhalten wir einen Ausschlag und können den Versuch so lange mit gleichem Erfolg wiederholen, als noch Zink vorhanden ist, das sich in der verdünnten Säure löst.

Wir haben alle diese Versuche so dargestellt, als ob sie mit dem Elektroskop ausgeführt würden, um das Verständniss zu erleichtern; thatsächlich benutzt man das Elektrometer, welches numerische Werthe giebt.

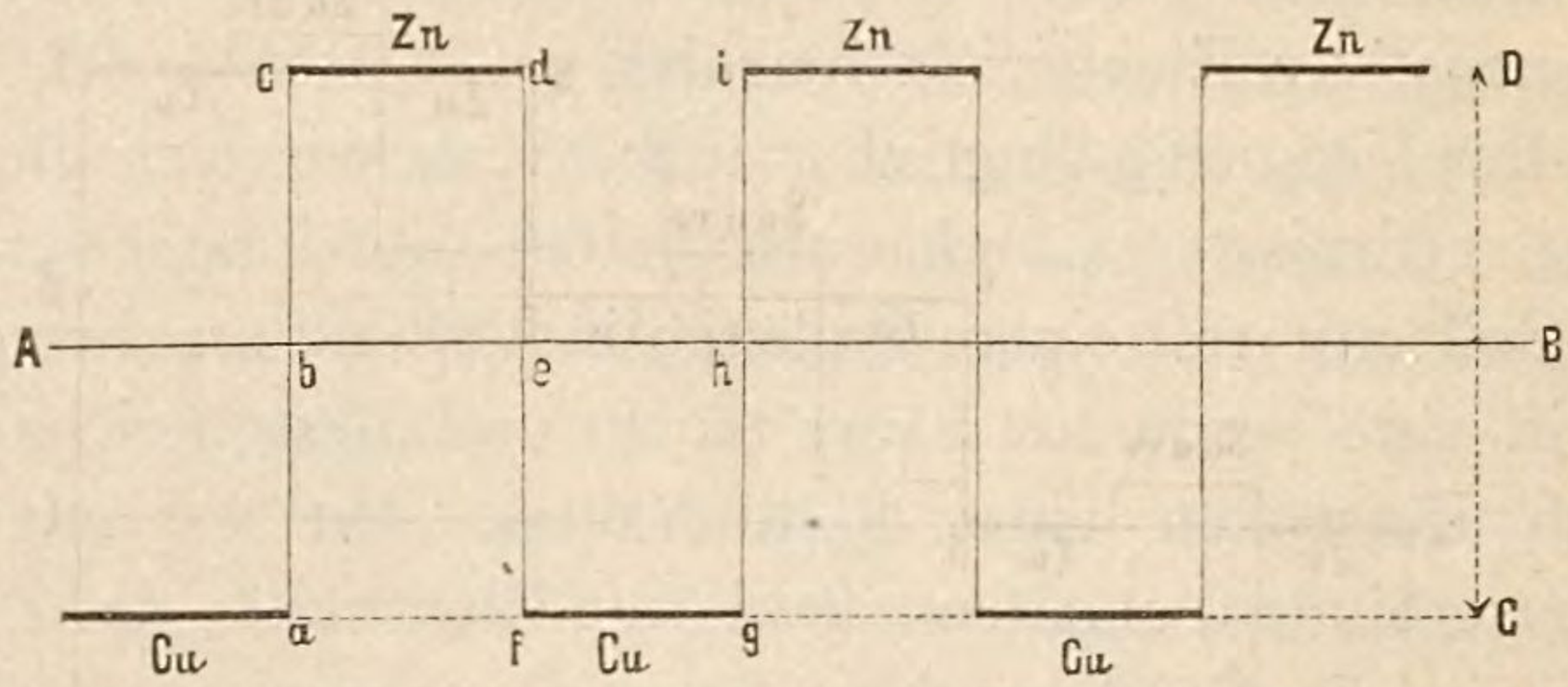
Volta, der auch schon diesem ähnliche Versuche angestellt hatte, war anfänglich der Ansicht, dass die flüssigen Leiter keine weitere Rolle bei diesem Vorgange spielen, als die Elektricität von den Metallen abzuleiten,

und dass an der Berührungsstelle keine elektromotorische Kraft auftrete.

Er erkannte auch bald, dass sich die flüssigen Leiter nicht in die Spannungsreihe aufnehmen lassen und nannte sie im Gegensatz zu den festen Leitern die Leiter der zweiten Ordnung.

Diese freilich irrige Ansicht über die Natur der Rolle, welche die Flüssigkeiten spielen, veranlasste ihn, von dem Bestreben ausgehend, eine Verstärkung der Elektricitätsentwicklung zu erzielen, zum Aufbau seiner Säule.

Fig. 14.



Eine einfache Ueberlegung zeigt, dass es unmöglich sei, durch einfaches Aufeinanderschichten von Zink und Kupferplatten eine höhere Potentialdifferenz zu erreichen, als die eines einfachen Paares ist, da ja die Endglieder der Kette wieder nur Zink und Kupfer sind.

Sehr anschaulich wird dies durch eine graphische Darstellung der Potentialwerthe einer solchen Verbindung. In der Fig. 14, welche diese Verhältnisse klarlegen soll, stellt die senkrechte Linie die Grösse der Potentialdifferenz dar zwischen Kupfer und Zink, und zwar von der Linie *A B* nach aufwärts die positiven, nach abwärts die negativen Werthe.

Dem ersten Paar entspricht das positive Potential $a\,b$ für das Kupfer, das negative $c\,b$ für das Zink.

Potentialdifferenz $+ ab - (-cb) = ac = CD$

für das zweite sich berührende Paar

$Zn - Cu$ haben wir

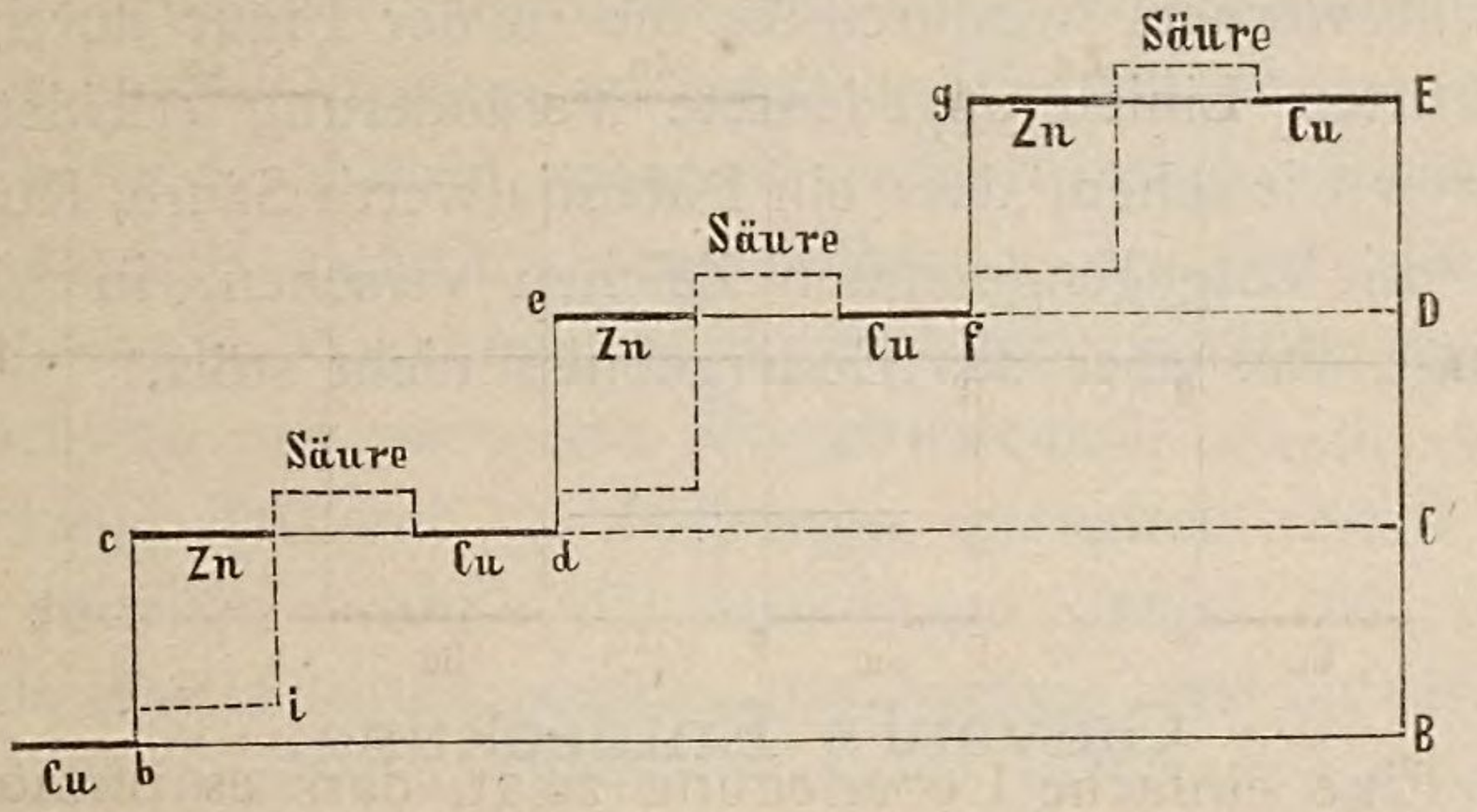
Potentialdifferenz $- de - (+ef) = -df = - CD$

für beide Paare also die Summe $\underline{CD - CD = 0}$

für das dritte Paar ist wieder die

Potentialdifferenz $= ih - (-hg) = ig = CD$

Fig. 15.



also für alle drei Paare oder für die Aufeinanderfolge von: Kupfer, Zink, Kupfer, Zink $= CD - CD + CD =$ $= CD =$ Kupfer, Zink.

Nehmen wir mit Volta an, das Wasser oder die Flüssigkeit spiele gar keine andere Rolle als die eines Leiters zweiter Ordnung, so würde sich das Diagramm wie in Fig. 15 gestalten, wenn das Kupfer zur Erde abgeleitet wird, wodurch die Linie $A\,B$ mit der Linie, in welcher der obigen Figur gemäss das Cu gezeichnet ist, zusammenfällt, wir hätten also dann

für das erste Paar die Potentialdifferenz $cb = BC$
„ „ zweite „ „ „ „ $de = CD$
„ „ dritte „ „ „ „ $fg = ED$
„ alle drei Paare die Potentialdifferenz $BC + CD + ED = 3\,CB$,

d. h. die Potentialdifferenz wächst mit der Anzahl der verbundenen Plattenpaare, welchen man allgemein den Namen Elemente beilegt.

Wie wir sogleich erfahren werden, nimmt jedoch auch die Flüssigkeit thätigen Antheil an der Elektricitätserregung, sie muss also auch in dem Diagramm berücksichtigt werden, wodurch es die in der Figur durch die punktirten Linien angedeutete Veränderung erleidet, in welcher wir sehen, dass ein Potentialwerth Säure, Kupfer, weil mit entgegengesetzten Zeichen versehen, in Abzug gelangt, was aber das Endergebniss nicht stört.

Galvani's Entdeckung.

Ehe wir weiter gehen, wollen wir einen kleinen geschichtlichen Rückblick auf die Ereignisse, werfen, welche den Entdeckungen Volta's vorangegangen sind.

Dass die Entladung eines elektrischen Accumulators auf die Nerven einen merkbaren Einfluss ausüben kann, erwähnten wir bereits bei der Erfindung der Kleist'schen Flasche.

Elf Jahre später machte Caldani in Bologna darauf aufmerksam, dass frisch getödtete Frösche unter dem Einflusse der Elektricität in Zuckungen versetzt werden können.

Diese Wahrnehmung gerieth wieder in Vergessenheit, ebenso wie jene, die ein deutscher Gelehrter, Sulzer, um das Jahr 1760 der Berliner Akademie bekanntgab, dass zwei sich berührende Metalle auf der Zunge eine eigenthümliche Geschmackswirkung hervorrufen, bis im Jahre 1789 der Zufall abermals die allgemeine Aufmerksamkeit auf den Einfluss richtete, den die Elektricität auf das Nervensystem auszuüben im Stande ist.

Der Gattin des Chirurgen Professor Ludwig Galvani in Bologna gebührt das Verdienst, den Stein in's Rollen gebracht zu haben, der endlich Anstoss gab, dass sich tüchtige Forscher eingehend mit dem Gegenstande befassten, dessen Studium so herrliche Früchte getragen hat.

Damit beschäftigt, einige Frösche für die Vorlesungen ihres Gemals herzurrichten, während derselbe einigen Studenten die Wirkungen einer Elektrisirmaschine zeigte, beobachtete sie, dass die Froschschenkel, so oft eine Entladung stattfand, in Zuckungen geriethen. Nach anderen Quellen rührten die Zuckungen davon her, dass sie mit dem Scalpell zufällig die Nerven des auf einen Zinnteller liegenden Froschschenkels berührte und nur irrthümlich vermuthete, die Entladung der Elektrisirmaschine sei die Ursache.

Ludwig Galvani, der versuchen wollte, ob auch die atmosphärische Elektricität im Stande sei, diese Wirkungen hervorzubringen, befestigte einen der Froschschenkel an einem Kupferdraht und hängte ihn an dem eisernen Balcongitter auf, sorgfältig darauf achtend, dass das eine Ende des Drahtes blitzableiterartig gegen das Firmament gerichtet war.

Doch es erfüllten sich seine Erwartungen nicht. Einige Muthmassungen zu erproben, bog er nun den

Draht nach abwärts, dabei berührte der Froschschenkel das Balcongitter und sofort traten die erwarteten Zuckungen ein.

Es würde uns zu weit führen, wollten wir weiter die Theorien eingehend erwähnen, welche Galvani an diese Erscheinung knüpfte; so viel möge genügen, dass er eine eigene Flüssigkeit annahm, die aus den Nerven durch das Metall in die Muskel überströmen sollte, und dass diese galvanische Flüssigkeit ebenso wirke, wie die Elektricität bei der Leydener Flasche, welcher der Froschkörper insofern ähnlich sei, dass seine Nerven und Muskeln deren Belege darstellen sollten.

Zu jener Zeit war man gerade wieder sehr eifrig darnach bestrebt, das Lebensprincip aufzufinden, und glaubte in Galvani's Entdeckung den besten Fingerzeig zu haben, weshalb sich alle Forschungen auf falschen Bahnen zu bewegen begannen.

An allen Orten, wohin die Kunde von Galvani's Entdeckung drang, fand sie rasche Verbreitung, in Deutschland, England und Frankreich wiederholte man den Versuch, ohne aber einen Schritt weiter vorwärts zu thun.

Dem Professor Alexander Volta in Pavia gebührt das Verdienst, unbeirrt von den Hypothesen, die an den Versuch geknüpft waren, denselben mit voller Aufmerksamkeit wiederholt zu haben, er entdeckte auch bald, was allen Anderen entgangen war, dass zum Gelingen des Versuches die Anwendung von zweierlei Metallen wesentlich sei, die einander und den Froschschenkel wie dessen Nerven berühren.

Einmal zur Erkenntniss dessen gelangt, verwarf er sofort die Theorie von der Leydener Flasche und der galvanischen Flüssigkeit und sprach den Satz aus, dass

bei der Berührung zweier Metalle Elektricität erzeugt werde, die in Nichts von der bis dahin durch Reibung erzeugten verschieden sei.

Auf diesem Fundamente weiter bauend, erfand er die allgemein bekannte Volta'sche Säule, deren Principien wir schon an einem anderen Orte klargelegt haben.

Aber auch Galvani wurde, freilich lange nach seinem Tode, eine Art Ehrenrettung zu Theil, indem sich wirklich herausstellte, dass in dem thierischen Körper eine Elektricitätsquelle vorhanden sei.

Alle Beobachtungen, welche wir bis jetzt mit unseren Elektricitätsquellen anstellten, beschränkten sich darauf, die Goldplättchen unseres Elektroskopes zur Abstossung zu bringen.

Wir wissen aber auch, dass die Elektricität im Stande ist, andere als derlei mechanische Wirkungen auszuüben; es sind da chemische Wirkungen in Betracht zu ziehen, ferner die Ablenkung der Magnetnadel u. s. w.

Wir wollen uns mit der letztgenannten Eigenschaft begnügen und untersuchen, ob bei unserer Stromquelle ebenso wie bei der früheren die Einwirkung auf die Magnetnadel eine kurzandauernde ist.

Wir erfahren alsbald, dass dies nicht der Fall ist, sondern dass, so lange wir den Draht, welcher um die Nadel herumgeht, an die Zink- und Kupferplatte angelegt erhalten, auch die Nadel nicht in die Ruhelage zurückkehrt, also immerfort im Drahte elektrische Entladungen vor sich gehen, und zwar in ununterbrochener Aufeinanderfolge, die man kurz mit dem Namen elektrischer Strom belegt hat.

Ueber die Entstehungsursache dieses Stromes herrscht noch ein ähnliches Dunkel, wie über den Volta'schen

Fundamentalversuch; wir wollen uns bemühen, die verschiedenen Erklärungen, welche im Laufe der Zeit ersonnen wurden, hier kurz vorzuführen.

Theorien der Elektricitätserregung bei Berührung von Metallen mit Flüssigkeiten.

Unsere Stromquelle — denn als solche müssen wir die neue Zusammenstellung bezeichnen — besteht aus zwei Metallen und einer Flüssigkeit, und es wäre nun zu untersuchen, in welcher Weise die Elektricitätserregung in derselben vor sich geht.

Als wir den Volta'schen Fundamentalversuch besprachen, haben wir von demselben mehrere Erklärungen gegeben; es ist natürlich, dass, auf diesen fussend, sich der Vorgang in unserem Elemente auf verschiedene Weise wird erklären lassen.

Nach der Contacttheorie müssen wir vor Allem annehmen, dass auch bei der Berührung von Metallen mit den Flüssigkeiten jene Contactkraft geweckt wird, welche die Scheidung der Elektricitäten einleitet. Wir haben schon erläutert, woher es kommt, dass zwei Metalle, die sich berühren, nicht die Quelle eines andauernden Stromes sein können — eine Thatsache, die sich in dem Satze ausdrücken lässt: In einem geschlossenen Kreis gebildet, aus Gliedern der Spannungsreihe, ist die Elektricitätsströmung gleich Null.

Flüssigkeiten aber stehen, wie wir wissen, ausserhalb der Spannungsreihe und sind auch ihrer Natur nach nicht unveränderliche Elektricitätsleiter, deshalb kann auch in

einem Drahte, der die Metalle verbindet, welche wir in eine Flüssigkeit eingesenkt haben, eine Elektricitätsströmung stattfinden, denn die Contactwirkungen der Metalle ausserhalb der Flüssigkeit brauchen nicht den Contactwirkungen zwischen der Flüssigkeit und den Metallen das Gleichgewicht zu halten.

Wenn auch damit das Zustandekommen eines Stromes erklärt wird, so kann doch die Contacttheorie nicht genügenden Aufschluss geben über den unzweifelhaft stattfindenden Einfluss, welchen chemische Processe auf die Stromentwicklung nehmen, und deren Kenntniss genügt, um häufig die Stromesrichtung voraus angeben zu können.

Ein fernerer Einwurf gegen die Stichhältigkeit der Contacttheorie ist jener, dass sie nicht erklärt, wieso ohne aufgewendete Arbeit eine Elektricitätsquelle im Stande sein kann, in ihrem Schliessungskreis Wärme zu entwickeln — eine Thatsache, die gegen den Satz von der Erhaltung der Energie verstösst und geradeaus zum Perpetuum mobile führen müsste.

Im chemischen Processe hingegen schien eine nähere Erklärung dieses Umstandes gegeben zu sein, weshalb bald die Physiker sich der chemischen Theorie der Elektricitätserregung zuwendeten.

Es würde uns zu weit führen, wollten wir alle Theorien aufzählen und erklären, welche in dieser Richtung ersonnen wurden; am umfassendsten war jene, welche De la Rive entstammte und die sich in zwei Hauptpunkte zusammenziehen lässt:

1. Nur durch chemische Einwirkung der Flüssigkeiten auf ein Metall oder zweier Flüssigkeiten aufeinander entsteht ein Strom.

2. Jene Platte ist elektropositiv, welche heftiger angegriffen wird; bei zwei Flüssigkeiten wird die saure positiv elektrisch.

Doch auch diese Theorie fand zahlreiche Anfechtungen, trotzdem sie von Faraday unterstützt wurde, weil sie in manchen Punkten mit der Erfahrung nicht stimmt und den Widerspruch nicht zu erklären im Stande ist.

Dem Vorwurfe zu entgehen, dass viele Zusammenstellungen, in welchen die Metalle vor Schluss des Stromkreises nicht angegriffen werden, Elektricität liefern, nahm Schönbein, dessen Theorie wir jetzt entwickeln wollen, eine „Tendenz zur chemischen Verbindung" an.

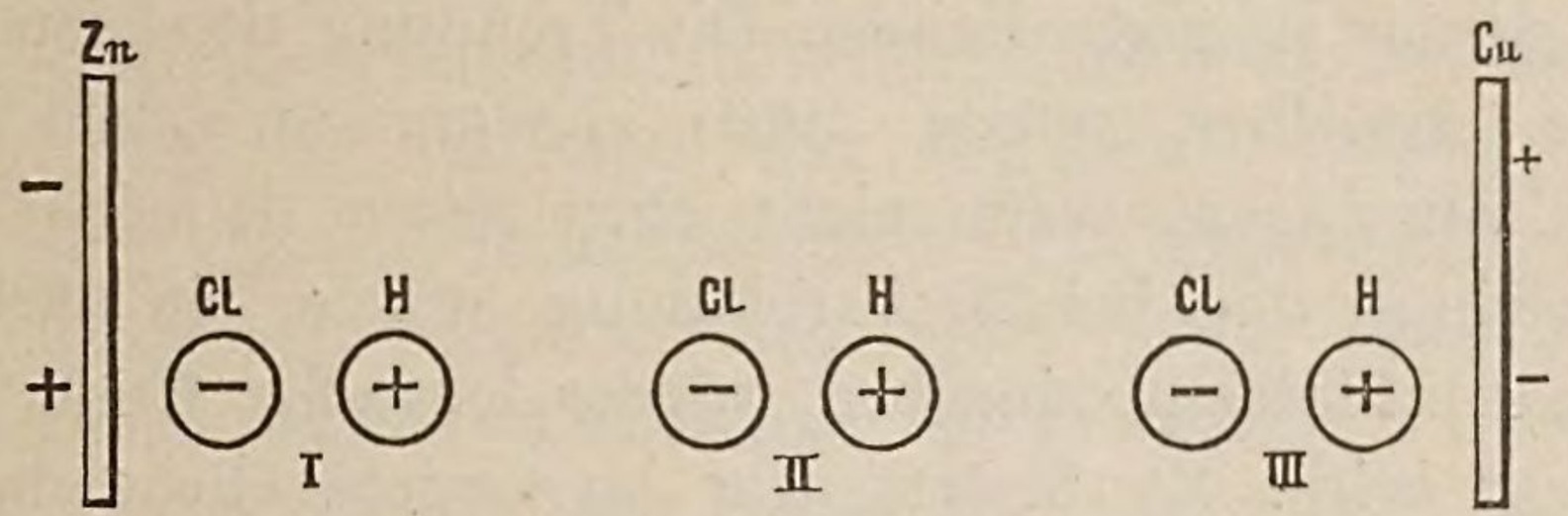
Durch diese soll eine Störung des chemischen und elektrischen Gleichgewichtes eingeleitet werden; wie dies geschieht, wird sofort klar werden, wenn wir die Theorie an einem Beispiele, das wir G. Wiedemann's Elektricitätslehre entnehmen, erläutern. Dieser Annahme fügte Schönbein noch die fernere hinzu, dass sich auch die Moleküle der metallischen Leiter polarisiren.

Denken wir uns, wir senken in ein Gefäss, welches verdünnte Salzsäure enthält, die, wie bekannt, aus Chlor und Wasserstoff besteht, eine Zink- und eine Kupferplatte ein, so wird das erstere auf den elektronegativen Theil der Flüssigkeit, d. i. das Chlor, eine gewisse Anziehung ausüben, die grösser sein kann als jene, durch welche der Wasserstoff beeinflusst wird.

Die natürliche Folge hiervon ist, dass sich die kleinsten Theile der Flüssigkeit demgemäss lagern, d. h. dass selbe ihren elektronegativen Theil dem Zink, den elektropositiven dem Kupfer zukehren, was vielleicht durch eine entsprechende Wirkung des Kupfers auf den Wasserstoff noch unterstützt werden kann (Fig. 16).

Durch diese Polarisation der Flüssigkeit wird nun auf die Metalle selbst ein Einfluss ausgeübt. Der dem Zink zunächst liegende elektronegative Bestandtheil wirkt nämlich auf dieses vertheilend, der gleiche Fall, aber in entgegengesetztem Sinne, tritt bei dem Kupfer ein; in Folge dessen wird die positive Elektricität im Zink, soweit es in die Flüssigkeit taucht, angezogen, die negative in den über die Flüssigkeit ragenden Theil getrieben, während bei dem Kupfer die positive Elektricität nach aussen wandert.

Fig. 16.



Hierdurch wird aber die chemische Affinität gesteigert und während sich die positive Elektricität des Zinkes mit der negativen des Chlors ausgleicht, findet zugleich eine Verbindung der beiden Grundstoffe zu Zinkchlorid statt, welches dann unelektrisch ist.

Die weitere Folge wäre nun, dass sich der + Wasserstoff mit dem anliegenden — Chlor verbindet, worauf sich der Process gegen die Kupferplatte fortsetzt, bis an derselben + Wasserstoff frei wird und eine Ausgleichung der + Elektricität derselben mit der negativen der Kupferplatte stattfindet, worauf das Gas unelektrisch entweicht.

Indem dieser Process vor sich geht, wird in der Zinkplatte immer negative, in der Kupferplatte immer

mehr positive Elektricität frei, wodurch endlich statt einer Anziehung eine Abstossung derselben, weil gleichnamig elektrisch, erfolgt und der chemischen Einwirkung ein Ziel gesetzt wird, sobald sich elektrische Abstossung und chemische Verwandtschaft das Gleichgewicht halten.

Bieten wir nun den beiden Elektricitäten dadurch Gelegenheit, sich zu vereinigen, dass wir die Zinkplatte mit der Kupferplatte durch einen Leiter verbinden, so kann sich das Spiel der Kräfte wieder erneuern und es ist Anlass geboten zu einer ununterbrochenen Scheidung der Elektricitäten unter gleichzeitig stattfindender Zersetzung des flüssigen Leiters. Die Trennung der Bestandtheile desselben würde einen Gewinn an lebendiger Kraft einbringen, wenn nicht eben solche dadurch verloren ginge, dass bei der Verbindung, welche die nächstliegenden Moleküle eingehen, wieder lebendige Kraft verbraucht wird. Es findet sogar im Gegentheile dadurch ein Verlust lebendiger Kraft statt, dass einzelne Bestandtheile der Flüssigkeit zu den Metallen wandern, um dort eine chemische Verbindung einzugehen oder in das Freie zu entweichen.

Diese lebendige Kraft erscheint als Wärme wieder, welche den chemischen Process begleitet.

Der Wärmemenge, welche hiermit der Auflösung eines Aequivalentes Zink und Wasserstoffabscheidung entspricht, muss also die bei der Vertheilung der Elektricitäten aufgewendete Arbeit gleichkommen und diese Arbeit muss im Schliessungskreise wieder zum Vorschein kommen entweder in Form von Wärme oder einer sonstigen Arbeitsleistung.

Wir sehen also, dass die ganze Energie, welche sich im Schliessungskreise als Wärme oder dieser äquivalente

Leistungen kundgiebt, somit nur den chemischen Vorgängen entstammt, welche sich in demselben abspielen.

Die stattfindende Proportionalität der Summe aller elektrischen Scheidekräfte in einem Stromkreis mit dem Wärme-Aequivalent der chemischen Processe deutet an, dass jene Contact- oder Scheidungskräfte, die an Stellen auftreten, wo keine Veränderungen stattfinden, auf andere Weise als durch theilweise Vernichtung der Scheidekräfte an den übrigen Stellen unthätig gemacht werden müssen.

Wir sind daher nach dieser Theorie zur Annahme gezwungen, dass bei der Berührung der Metalle mit den Flüssigkeiten elektromotorische Kraft in zweifacher Weise erregt wird. Einmal durch eine ungleiche Anziehung der Metalle gegen jene Bestandtheile der Flüssigkeiten, welche entgegengesetzt elektrisch sind, und ferner durch eine verschieden starke Anziehung der Metalle und Flüssigkeiten, beide blos als Massen gedacht, gegen die Elektricitäten der einen oder anderen Art.

Die letztere Annahme würde uns erlauben, die Flüssigkeiten in die Spannungsreihe einzuführen, woraus sich dann von selbst ergeben würde, dass ein geschlossener Kreis von Metallen und Flüssigkeiten — gerade so wie wir dies von Metallen allein gezeigt haben — eine Stätte der Vernichtung aller Scheidekräfte ist, und in einem solchen nur die erstere Wirkung, die ungleiche Anziehung aller Metalle gegen jene Bestandtheile der Flüssigkeiten, welche entgegengesetzt elektrisch sind, zur Geltung kommt, die chemische Einwirkung also allein die zur Bildung des Stromes nöthige Scheidungskraft liefert, der die elektromotorische Kraft entstammt.

Diese Theorie ist, wie wir sehen, eine sinnreiche Verschmelzung der Contacttheorie mit der chemischen

Theorie, ersonnen, um Lücken, welche die letztere zeigt, zu decken, vor Allem aber das Althergebrachte nicht aufgeben zu müssen.

Bedenken wir nun, dass die Contacttheorie doch nur aufgestellt wurde, um den Volta'schen Fundamentalversuch zu erklären, also gegenstandslos werden musste, sobald für diesen eine annehmbare andere Erklärung gegeben werden konnte, die noch dazu, wie jene Exner's, durch Messungen gestützt ist, so ist unschwer zu begreifen, warum sich dieser Physiker bemüht hat, auch die Stromerregung zwischen festen Körpern und Flüssigkeiten vom chemischen Standpunkte aus ganz allein klarzulegen.

Wie aus den Schlussworten der soeben entwickelten Theorie ganz zweifellos hervorgeht, wird nur an jenen Berührungsstellen Elektricität erzeugt, an welchen eine chemische Reaction vor sich geht.

Dieses Zugeständniss genügt aber, wie wir sofort sehen werden, vollkommen, alle Vorgänge, die durch Zusammenstellung eines galvanischen Elementes eingeleitet werden, zu erklären.

Wir wollen mit möglichster Kürze eine Entwicklung dieser Theorie geben. Ausführlicheres ist zu finden im Separatabdrucke aus dem Rep. der Physik, herausgegeben von Dr. F. Exner, welcher die Ueberschrift trägt: „Ueber den gegenwärtigen Stand der Frage nach der Ursache der Elektricitätsentwicklung beim Contact heterogener Körper."

Senken wir ein Zinkstück in angesäuertes oder gewöhnliches Wasser ein, so erhalten wir bei Auflösung desselben Wärme oder Elektricität, je nachdem sich ein galvanisches Element bildet oder nicht.

Wenn wir nicht annehmen wollen, dass die Einsenkung einer zweiten Metallplatte, welche gar keinen chemischen Process veranlasst, bestimmend darauf wirkt, ob Wärme oder Elektricität entsteht, so können wir mit Exner sagen: zuerst wird durch Auflösung des Zinkes, unter Verlust chemischer Energie, eine Scheidung der Elektricitäten eingeleitet, von welchen die negative in das Zink und eine gleiche Menge positive in die Flüssigkeit geht.

Haben wir nicht unendlich grosse Massen beider Stoffe vor uns, so muss aus diesem Vorgange bald eine solche Steigerung des Potentialniveaus entspringen, dass die Differenz der Potentiale an der Erregungsstelle der elektromotorischen Kraft, deren Ursache die chemische Energie ist, und welche die Trennung der Elektricitäten veranlasst, dieser das Gleichgewicht hält. Von diesem Augenblicke an findet eine Vereinigung der Elektricitäten nach Massgabe ihrer Fortentwicklung statt, welche unter Wärme-Entwicklung vor sich geht.

Wollen wir also eine Fortentwicklung der Elektricität erzielen, so müssen wir die Capacitäten des Zinkes und der Flüssigkeit unendlich gross machen, was wir auf einem Umwege dadurch erreichen, dass wir beide mit einem unendlich grossen Körper, dessen Potential durch unsere Elektricitätsentwicklung nicht so bald verändert wird, verbinden; ein solcher ist unsere Erde.

Indem wir aber eine Ableitung des Wassers veranlassen, d. h. eine zweite Elektrode, z. B. aus Platin, das ja keine chemische Verbindung eingeht, einsenken, erhalten wir das, was gewöhnlich ein galvanisches Element genannt wird. Wir gewinnen so auch eine neue Anschauung über die Zusammensetzung desselben, denn

wir sehen, dass es eigentlich nur aus einem Metalle und einer Flüssigkeit besteht und dass unser zweites Metall eigentlich nur die Rolle eines Ableiters spielt und der positive Pol im wahren Sinne die dem Ableiter anliegende Flüssigkeitsschicht ist.

Von der Erde nehmen wir an, dass sie das Potential Null habe, und sehen daher, es sei zu einer andauernden Stromentwicklung nöthig, dass im Schliessungskreise an irgend einer Stelle das Potential Null herrscht.

Da die Elektricitätsmengen, die entwickelt werden, gleich gross und entgegengesetzt sind, so muss, wie wir von früher wissen, das Anlegen eines Leiters genügen, eine Vereinigung und damit eine Vernichtung, kurz das Potential Null zu erzielen.

Auf diese Weise erhalten wir das, was wir ein geschlossenes galvanisches Element nennen.

Es ist nun an der Zeit, auch einen Blick auf die übrigen Vorgänge während der Stromentwicklung zu werfen.

So lange das Zink allein in die Flüssigkeit taucht und keine Ableitung angebracht ist, entwickelt sich der Wasserstoff an demselben; senken wir jedoch die Platinplatte ein und schliessen den Stromkreis, so tritt plötzlich die Gasentwicklung an der Ableitungs-Elektrode auf.

Wie wir von den Wirkungen der elektrischen Entladung her wissen, wird das Wasser in seine Bestandtheile zerlegt, sobald es ein elektrischer Strom durchsetzt; diesen Fall haben wir auch hier vor Augen.

Indem die positive Elektricität vom Zink weg in die Flüssigkeit, von dort in das Platin wandert, findet eine Zerlegung derselben statt, und es wird Sauerstoff am Zink und Wasserstoff am Platin ausgeschieden.

Der Sauerstoff, welcher am Zink frei wird, verbindet sich sofort mit dem sonst dort erscheinenden Wasserstoff zu Wasser und es bleibt nur mehr der am Platin erscheinende übrig, welcher somit vom Zink dorthin gewandert zu sein scheint.

Abnahme der Stromentwicklung, Polarisation.

Wenn unser Element einige Zeit thätig war, so verliert der Strom einen Theil seiner Stärke, die Elektricitätsentwicklung vermindert sich; wenn dafür gesorgt wurde, dass genug Flüssigkeit und Zink vorhanden ist, so kann dieser Umstand, so scheint es, nur einer Elektricitätserregung zugeschrieben werden, welche der ursprünglich eingeleiteten entgegenwirkt und sie ganz oder theilweise aufhebt — etwas, was wir ja bei einem geschlossenen Kreise sich berührender Metalle kennen gelernt haben.

Diese neue Elektricitätsquelle scheint wirklich in der Berührung des ausgeschiedenen Wasserstoffgases mit der Platin-Elektrode gefunden zu sein und wir kommen in Folge dessen dazu, eine neue Art der Elektricitätserregung durch Berührung der Gase mit festen Körpern kennen zu lernen.

Dass in dem galvanischen Elemente wirklich ein Vorgang statt hat, wie wir ihn vermuthen, beweist schlagend folgender Versuch, den schon Schönbein in derselben Absicht angestellt hat.

Verbinden wir unser Element mit einer Strombussole, die, wie wir wissen, nichts Anderes ist, als eine

Magnetnadel, um welche in der Richtung ihrer Ruhelage ein Leitungsdraht in mehrfachen Windungen geführt wird, so bemerken wir nach einiger Zeit, dass der Ausschlag, den die Nadel gab, nach und nach abnimmt.

Unterbrechen wir nun die Verbindung mit dem Zink und senken möglichst rasch eine zweite Platinplatte in die Flüssigkeit, die wir statt der Zinkplatte mit der Bussole verbinden, so erhalten wir einen Strom von entgegengesetzter Richtung, der nach und nach schwächer wird und endlich ganz verschwindet.

Nehmen wir endlich unseren Wasserzersetz-Apparat, d. h. eine Vorrichtung, bestehend aus einem Gefäss, in welches zwei Platinbleche tauchen, die von Wasser umgeben sind, und verbinden dessen Klemmen, deren Drähte zu den Platinblechen führen, mit unserer Stromquelle, so werden wir ebenfalls nach deren Ausschaltung an der Strombussole einen Ausschlag erhalten, wenn wir die Klemme des Apparates mit derselben verbinden und abermals wird die Richtung des Stromes der des eingeleiteten entgegengesetzt sein.

Diese Art Strombildung wurde mit dem Namen Polarisation belegt, sie wird auch als Ursache der Schwächung unseres Elementes angenommen.

Durch die Berührung des Gases mit dem Metall soll eben elektromotorische Kraft oder Scheidekraft geweckt werden, welche die Elektricitäten trennt.

So bald wir aber den Boden der Contacttheorie verlassen, können wir auch dieser Annahme nicht zustimmen; eingehende Untersuchungen, welche Boscha und namentlich Fr. Exner über die Natur der galvanischen Polarisation anstellten, zeigen, dass diese Berührung wirklich ganz nebensächlich ist und die Stromerregung

durch die Wiedervereinigung der ausgeschiedenen Gase, in unserem Falle, hervorgerufen wird. (Einwürfe werden wir später kennen lernen.)

Haben wir es mit unserem Elemente zu thun, so können wir scheinbar eine derartige Wiedervereinigung, da ja nur Wasserstoff vorhanden ist, nicht gelten lassen.

Bringen wir aber in Rechnung, dass die Flüssigkeit immer sauerstoffhältig ist und dieses Gas auch den Elektroden anhaftet, so gewinnen wir einen neuen beachtenswerthen Einblick in die Vorgänge bei der Stromerzeugung.

Wir erfahren, dass die Wasserstoffausscheidung sogar dazu beiträgt, die Stromstärke zu erhöhen, so lange noch Sauerstoff in der Flüssigkeit vorhanden ist, weil ersterer ja gerade so verbrannt wird, wie unser Zink.

Näher auf die galvanische Polarisation werden wir eingehen, wenn wir von der Elektrolyse sprechen werden; jetzt wollen wir den Gegenstand nur so weit verfolgen, als dies zum Verständniss der galvanischen Elemente nöthig ist.

Vernichtung der Polarisation, Verbrennung der Ausscheidungen.

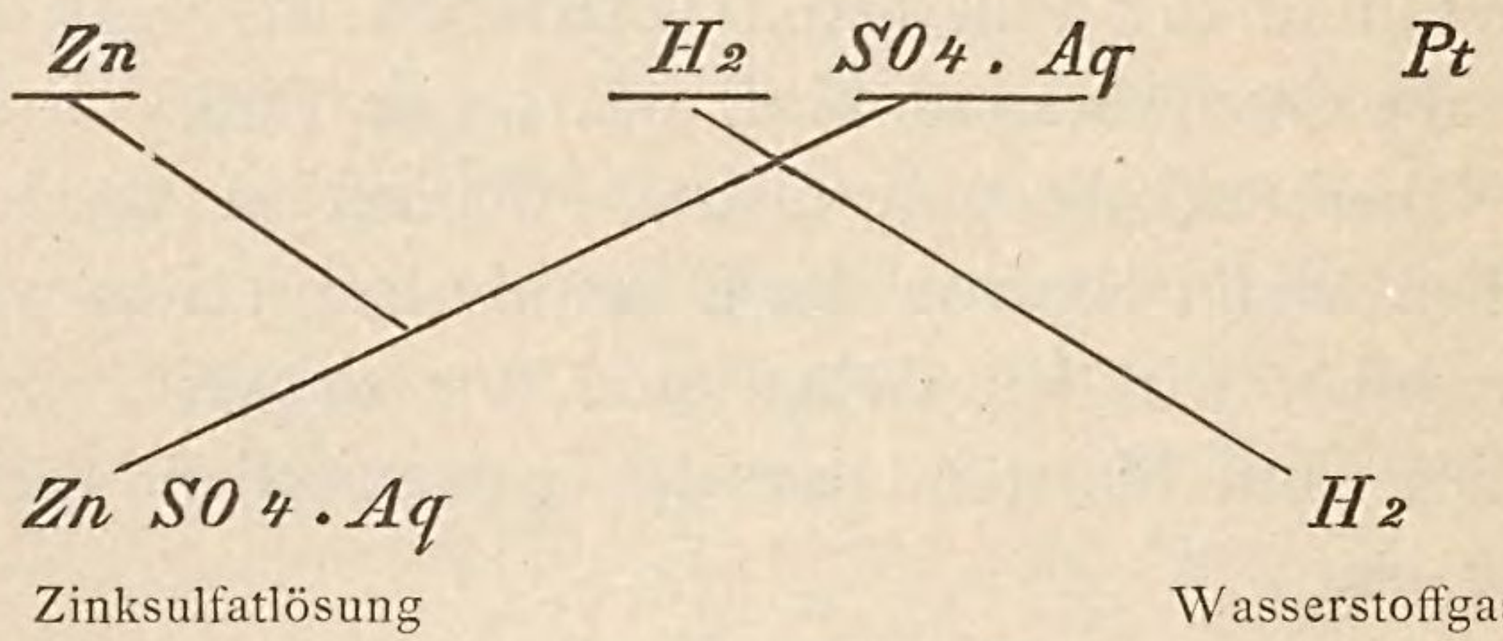
Mögen wir was immer für eine Ansicht über diesen Gegenstand haben, immer wird es gut sein, die Ausscheidung des Wasserstoffgases, oder, bei anderen Zusammenstellungen, die Abscheidung eines Metalls etc. zu verhindern.

Dies wird dadurch erreicht, dass wir die zweite Elektrode mit einem Stoffe umgeben, der im Stande ist, die Ausscheidungen sofort zu verzehren.

Vom Wärmewerth der hierbei stattfindenden chemischen Processe wird es dann abhängen, ob wir eine Steigerung der elektromotorischen Kraft zu gewärtigen haben oder nicht.

Wir geben nachstehend eine kleine Uebersicht über die Vorgänge im galvanischen Elemente und halten uns dabei an eine Zusammenstellung, welche wir dem Werke von Müller-Pfaundler entlehnt haben.

Element: Zink, verdünnte Schwefelsäure, Platin (Smee-Element).



In Verbindung getreten sind:

Zn, O. SO_3, Aq. Calor. Effect hierfür = + 106090 Cal.

Voneinander getrennt wurden:

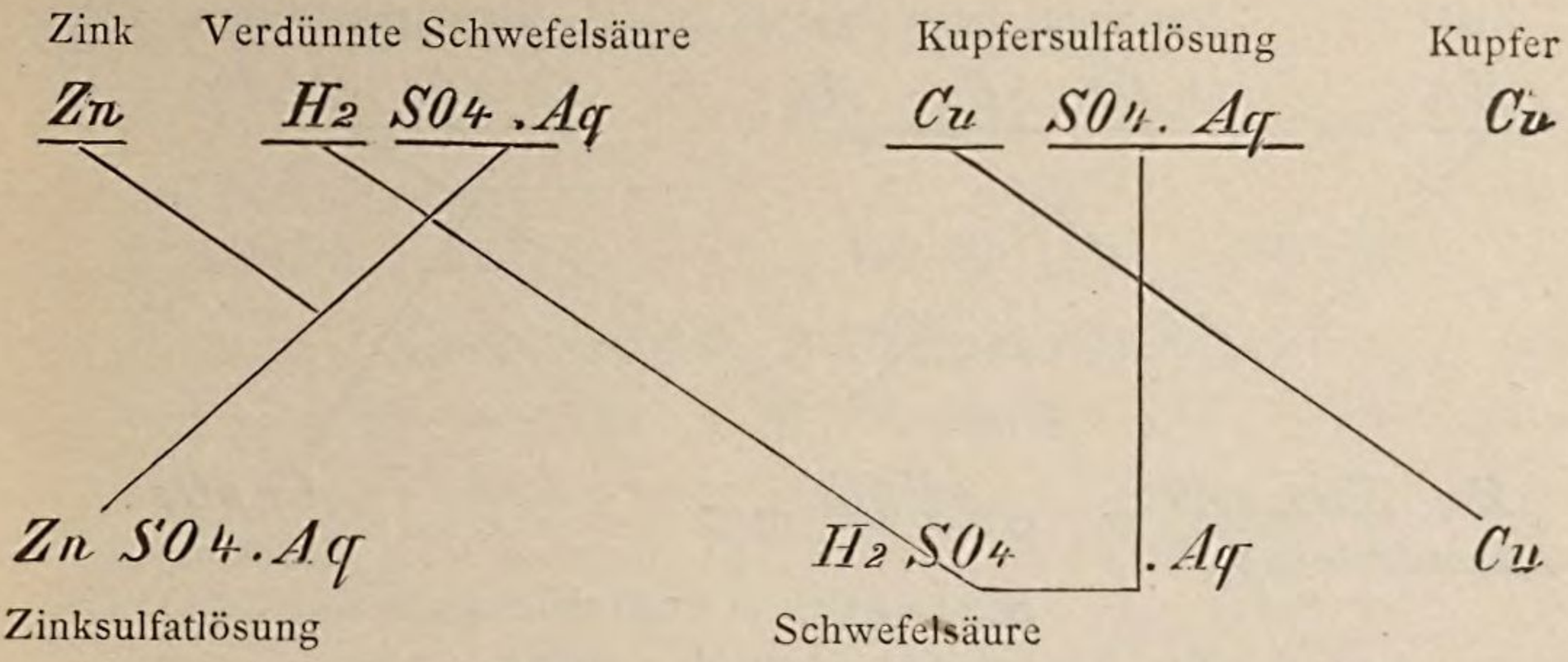
H_2, *O.* Calor. Effect hierfür = — 68360 Cal.

Calor. Gesammt-Effect = + 37730 Cal.

Nehmen wir aber an, dass wenigstens zu Beginn aller auftretende Wassertoff durch den gelösten Sauerstoff vernichtet wird, so haben wir:

Calor. Gesammt-Effect = + 106090 Cal.

Daniell'sches Element.



In Verbindung getreten sind:

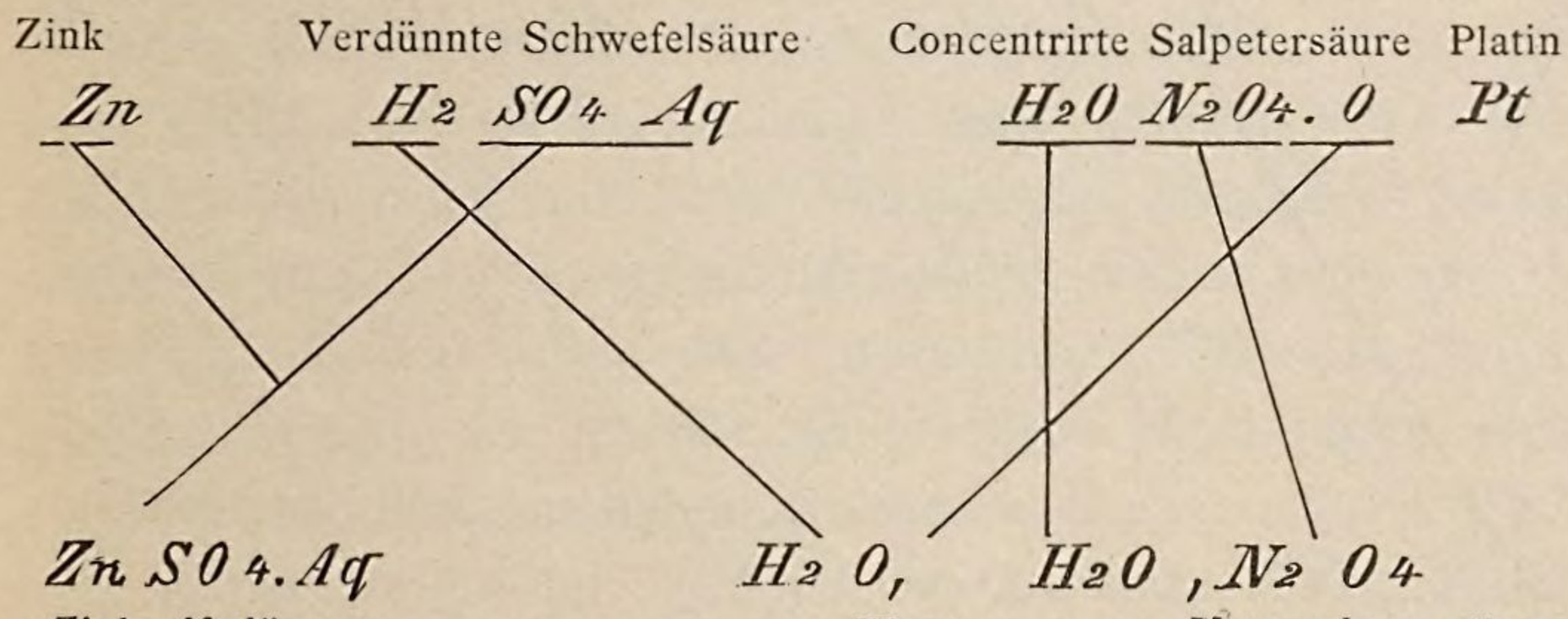
Zn, O, SO_3, Aq. Calor. Effect hierfür = + 106090 Cal.

Voneinander getrennt wurden:

Cu, O, SO_3. Calor. Effect hierfür = — 55960 Cal.

Calor. Gesammt-Effect = + 50130 Cal.

Grove-Element.



In Verbindung getreten sind:

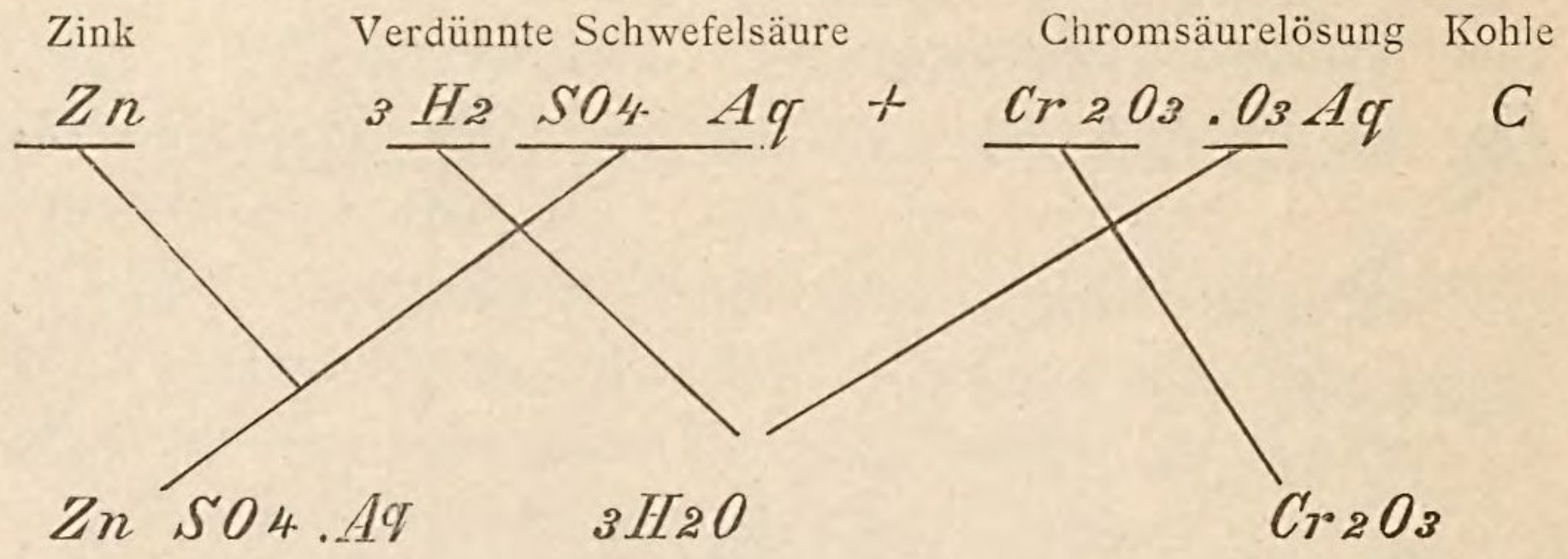
Zn, O, SO_3, Aq. Calor. Effect hierfür = + 106090 Cal.

Voneinander getrennt wurden:

N_2, O_4, O, H_2, O. Calor. Effect hierfür = — 10010 Cal.

Calor. Gesammt-Effect = + 96080 Cal.

Chromsäure-Element.



Auf 1 *Zn* berechnet, ergiebt sich:

In Verbindung getreten sind:

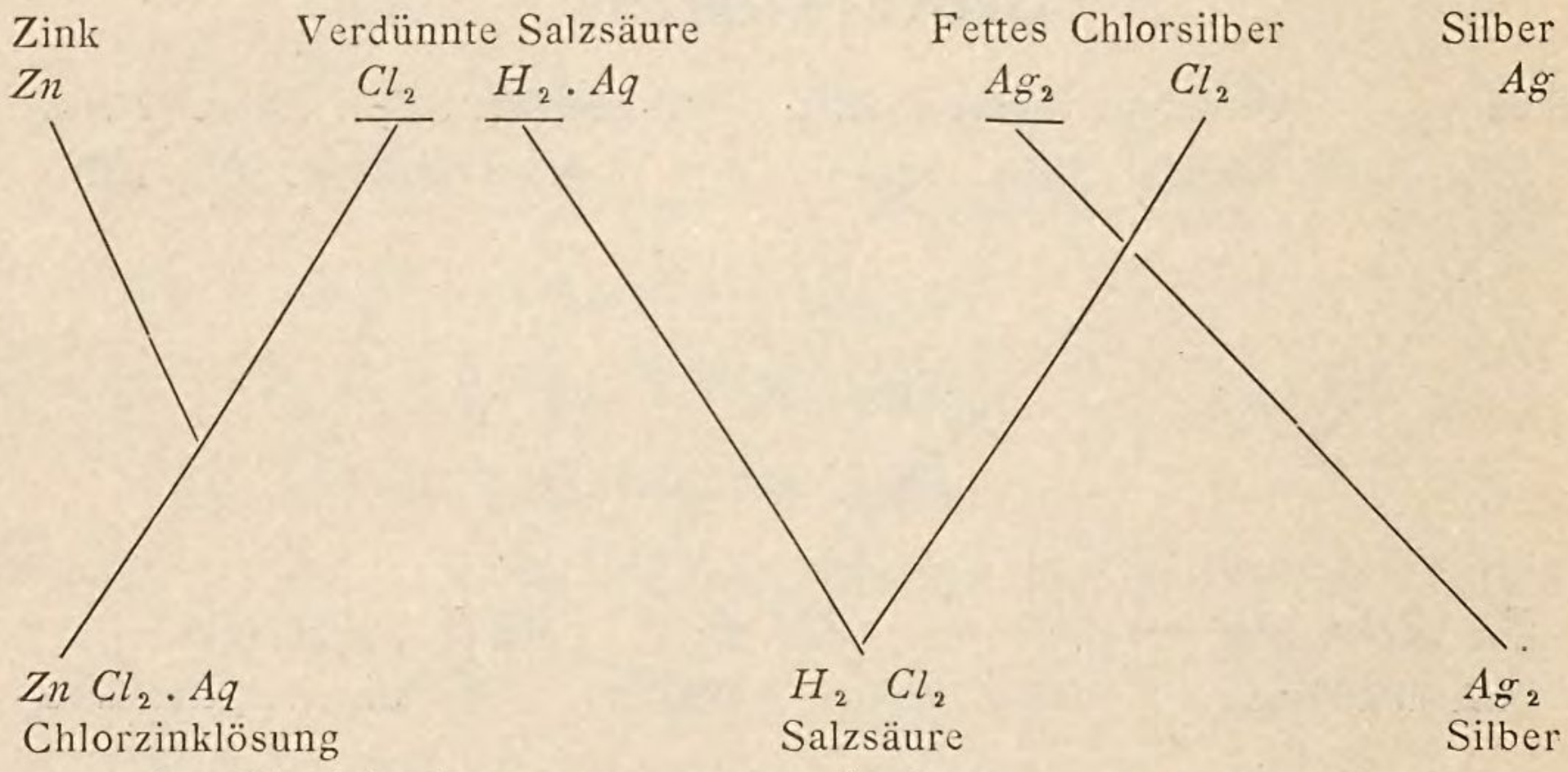
Zn, *O*, SO_3, *Aq*. Calor. Effect hierfür = + 106090 Cal.

Voneinander getrennt wurden:

$^1/_3$ (Cr_2, O_3, O_3). Calor. Effect hierfür = — 6300 Cal.

Calor. Gesammt-Effect = 99790 Cal.

Chlorsilber-Element.



In Verbindung getreten sind:

Zn, Cl_2, *Aq*. Calor. Effect hierfür = + 112840 Cal.

Voneinander getrennt wurden:

Ag_2, Cl_2. Calor. Effect hierfür = — 58760 Cal.

Calor. Gesammt-Effect = 54080 Cal.

Es verhalten sich also die calorischen Gesammt-Effecte der fünf Elemente wie folgt:

Smee (zu Beginn:)	:	Daniell (polarisirt:)	:	Grove
10699	: 37730	:	50130	: 96080

Chromsäure		Chlorsilber
99790	:	54080

Wird Daniell = 1 angenommen, so haben wir:

Smee (zu Beginn:)	:	Daniell (polarisirt:)	:	Grove
2·11	: 0·75	:	1	: 1·71

Chromsäure		Chlorsilber
1·93	:	1·07

was thatsächlich das Verhältniss der elektromotorischen Kräfte dieser Zusammenstellungen ist.

Wäre die Ansicht über die Polarisation richtig, wie sie die Contacttheorie fordert, so müsste nach kurzem Schluss der Werth des Elementes unter 0·73 sinken, was aber nicht der Fall ist, so lange dafür gesorgt wird, dass nicht neben oder statt dem Wasser die Zinksulfatlösung zersetzt und Zink ausgeschieden wird, was ja schliesslich zur Folge haben muss, dass in derselben Flüssigkeit zwei gleiche Metalle eingesenkt sind, deren Wirkungen sich selbstverständlich aufheben müssen.

Exner stellte den Versuch so an, dass er die Zink- und die Silberplatte in zwei getrennte Gefässe brachte, die nur durch einen Glasbügel, der mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt war, in Verbindung standen.

Wird das Platin oder Silber mit Kupfer vertauscht, so müsste nach der Contacttheorie der Werth der Polarisation sofort ein anderer werden, da ja jetzt das Gas

mit einem anderen Metalle in Berührung steht; doch auch für diese Zusammenstellung ergiebt sich, unter Beobachtung der nöthigen Vorsicht, derselbe Werth wie für Zink, Platin — ein Zeichen, dass die zweite Elektrode, so lange sie nicht einen chemischen Auflösungsprocess mit der Flüssigkeit eingeht, ohne Einfluss auf die elektromotorische Kraft ist. In dem letzteren Falle muss natürlich die durch den chemischen Process geweckte elektromotorische Kraft von jener, die der Zinkplatte entspricht, in Abzug gebracht werden.

Aus dem, was wir über das Smee-Element gesagt haben, und aus den angeführten Beispielen erhellt, dass es vor Allem darauf ankommt, solche Flüssigkeiten (Stoffe) der Zersetzung auszusetzen, die dabei weniger Calorien beanspruchen als Wasser, d. h. deren Bestandtheile lockerer gebunden sind, damit von den gewonnenen Calorien weniger in Abzug gebracht werden müssen.

Solche Stoffe sind eben das Kupfersulfat, die Salpetersäure, die Chromsäure, das Chlorsilber etc. etc.

Durch die Einführung derselben in die Elemente erhöhen wir deren elektromotorische Kraft. Da dieselbe nicht abnimmt im Laufe der Benutzung des Elementes, wie jene des Smee-Elementes, wenn nicht diese Stoffe ebenso aufgebraucht sind, wie der ursprünglich gelöste Sauerstoff im Zink-Platin-Elemente, so heissen sie die constanten Elemente.

Wir könnten das Daniell-Element auch als zwei hintereinander geschaltete Elemente betrachten, deren eines ein Smee-Element ist, während das andere den Wasserstoff als Lösungs-Elektrode besitzt.

Näher auf dieselben einzugehen, ist hier nicht der Platz, und müssen wir diesbezüglich auf den IV. Band

dieser Bibliothek verweisen. Theilweise werden wir später noch Gelegenheit haben, auf diesen Gegenstand zurückzukommen.

Leitung des galvanischen Stromes.

Wir wissen bereits, dass wir alle Körper in solche eintheilen können, welche den elektrischen Strom gut, schlecht oder gar nicht leiten. Um über die Fähigkeit eines Körpers, den Strom leiten zu können, Gewissheit zu bekommen, werden wir das eine Ende desselben mit einem Elektroskope in Verbindung bringen; wenn wir dann das andere Ende, selbes in die Hand nehmend, zur Erde ableiten, so giebt das geladene Elektroskop durch eine Ausschlagsverminderung zu erkennen, dass Elektricität abgeleitet wurde, der Körper also leitet. Dies ist aber nicht der Weg, welchen man bei einer derartigen Untersuchung gewöhnlich einschlägt.

Je nach der Natur des zu untersuchenden Stoffes bringt man ihn entweder zwischen zwei Metallplatten oder in einen Platintiegel, wenn er in geschmolzenem Zustande untersucht werden soll, oder spannt ihn in Klemmen ein, von welchen Drähte einerseits zu einer Säule, andererseits zu einem empfindlichen Galvanometer gehen; schliesslich schaltet man zwischen dem anderen Pol der Säule und der zweiten Klemme des Galvanometers einen Stromschliesser ein. Jeder Ausschlag bei Stromschluss, der von einiger Dauer ist, zeigt an, dass der untersuchte Körper den Durchgang des Stromes gestattet.

Handelt es sich um Versuche mit flüssigen Stoffen, so können verschiedene Umstände eine Störung verur-

BIBLIOTHECA REGIA

sachen; nicht nur die etwa eintretende Polarisation, welche eine Schwächung des Stromes hervorbringen kann, in deren Folge die Nadel zurückgeht, sondern auch die Leitung durch Convection kann Anlass zu Täuschungen geben. Die den Strom-Zu- und Ableitern zunächstgelegenen Flüssigkeitstheilchen beladen sich nämlich mit Elektricität und werden dann abgestossen. Indem dadurch eine Strömung der Flüssigkeit hervorgebracht wird, kann ein Ausgleich der Elektricitäten stattfinden, der ähnlich wie eine Stromleitung wirkt.

Ausser Acht darf ferner nicht gelassen werden, dass viele Nichtleiter dadurch leitend werden, dass sich an deren Oberfläche in festhaftender Schicht Wasserdampf niederschlägt und dabei sogar zuweilen Theilchen der Oberfläche in Lösung gehen, oder dieselbe eine chemische Veränderung erleidet. Ebonit verliert z. B. seine Eigenschaft, den Strom nicht zu leiten, dadurch, dass sich der in selbem vorhandene Schwefel zu Schwefelsäure oxydirt (durch Ozon), welche dann Wasser anzieht;[1]) manche Glassorten zersetzen sich an der Luft unter Bildung von kohlensaurem Kalium, das gleichfalls Wasser anzieht.

Auch die Oberflächenbeschaffenheit hat einen grossen Einfluss; meistens isoliren Körper mit rauher Oberfläche schlechter als solche mit glatter, da sich an ersteren die Feuchtigkeit besser festsetzt und schwerer zu entfernen ist. — Ein Trocknen über Phosphorsäure-Anhydrit (Schwefelsäure und Chlórcalcium genügen nicht) ist das einzige Hilfsmittel, welches man anwenden kann; ein Harzüberzug gewährt nur durch kurze Zeit wirklich be-

---

[1]) Aus solcher Ursache leitend gewordene Gegenstände reibt man sorgfältig mit Kalk oder wäscht sie mit Sodalösung; nach vollkommener Trocknung sind sie wieder brauchbar.

friedigenden Schutz, da sich diese Decke bald zerklüftet und dann in den Spalten und capillaren Zwischenräumen der Feuchtigkeit erst recht Gelegenheit geboten ist, sich anzusammeln.

Ehe wir weiter gehen, wollen wir die Leiter der Elektricität nach ihrem Verhalten, welches sie zeigen, wenn der galvanische Strom sie durchfliesst, in zwei Classen scheiden:

1. in solche, welche bei dem Durchgange des Stromes keine Veränderung erleiden;

2. in solche, welche dabei zersetzt werden.

Leitungsfähigkeit.

In die erste Gruppe gehören die Metalle und Metallverbindungen mit Schwefel und Sauerstoff (Oxyde und Superoxyde), Kohle etc. etc.; ihr Verhalten wollen wir zuerst kennen lernen.

Wie wir aus unseren Versuchen ersehen haben, hängt der Widerstand in einem Leiter nicht blos von dessen Länge und Querschnitt ab, sondern auch von der Natur des Stoffes, durch welchen die Elektricität strömen soll.

Gerade so wie wir bezüglich der Länge einen willkürlichen Massstab benutzen und dennoch sagen können: ein Draht, der so und so vielmal mehr Einheiten dieses Massstabes misst, hat einen ebenso vielmal grösseren Widerstand, ebenso können wir den Widerstand einer bestimmten Längeneinheit eines bestimmten Stoffes als Masseinheit nehmen und sagen: der andere Stoff von demselben Querschnitt hat einen so und so vielmal grösseren Widerstand, weil wir davon ein so vielmal kürzeres Stück nehmen müssen, damit die Widerstände gleich sind.

Die Zahl nun, welche uns sagt, wie vielmal die Länge des als Einheit angenommenen Stoffes in der Länge des verglichenen bei gleichem Querschnitt beider bei gleichem Widerstande enthalten ist, wird der specifische Leitungswiderstand des fraglichen Stoffes genannt.

Ein Kupferdraht kann z. B. bei gleichem Querschnitt sechsmal länger als Draht aus Eisen und zehnmal länger als ein Draht aus Neusilber sein, daher ist der specifische Widerstand des Eisen 6, des Neusilbers 10, wenn wir Kupfer als Einheit annehmen. Gewöhnlich benutzt man als Einheit den Widerstand eines Quecksilberfadens. Wir werden später auf diesen Gegenstand zurückkommen und auch zum Schlusse einige vergleichende Tafeln anführen.

Ebenso wie man von dem Widerstande spricht, welchen ein Leiter dem Durchgange des elektrischen Stromes entgegensetzt, kann man von der Fähigkeit desselben sprechen, selben weiter zu leiten; wie leicht begreiflich, steht die Leitungsfähigkeit in einer sehr einfachen Beziehung zum Leitungswiderstand, sie ist der reciproke Werth des letzteren, $L_f = \frac{1}{w_w}$.

Einfluss der Temperaturänderungen.

Schalten wir einen Drahtwiderstand aus Platin in den Stromkreis einer Säule ein, in welchem auch eine Bussole liegt, und erwärmen dann den Draht, so können wir beobachten, dass die Nadel ihren Stand verlässt und gegen Null zurückgeht. Wir ziehen daraus mit Recht den Schluss, dass sich der Widerstand durch Erwärmung des Drahtes geändert hat. Leider ist diese Widerstandszunahme nicht vollkommen regelmässig, doch haben für die Unterschiede von 0 bis 100 Grad zahlreiche Messungen

ergeben, dass der specifische Widerstand, bei 0 multiplicirt, mit dem Bruche $\frac{100 + at}{100}$ ausreicht, wenn man den Widerstand des Leiters bei t Grad zu wissen wünscht.

$$Wt = Wt_0 \left(\frac{100 + at}{100} \right)$$

In dieser Formel bedeutet Factor a eine Zahl, welche eben ermittelt werden muss. In die Sammlung der Tafeln haben wir auch eine auf diesen Gegenstand bezügliche aufgenommen.

Nach Vermuthungen einzelner Physiker dürfte dieser Factor für alle chemisch reinen Metalle denselben Werth besitzen, der etwa 0·37 betragen würde.

Was wir bisher angegeben haben, bezieht sich auf ziemlich reine Metalle. Ganz anders stellen sich die Verhältnisse, wenn es sich um Legirungen handelt; diese müssen wir vor Allem in zwei Hauptgruppen bringen, der einen gehören solche Metalle an, die, miteinander legirt, eine Leitungsfähigkeit besitzen, die der Berechnung nach den verwendeten Raumtheilen entspricht, und in solche, welche grösseren Widerstand bieten, als die Rechnung ergeben würde.

		Rechnung	Messung
Zink hat z. B. die Leitungsfähigkeit .		—	24·4
wird es nun legirt mit Cadmium, so dass			
die Legirung 26·06 Zink enthält, so ergiebt sich		29·86	29·67
oder mit Zinn, dessen Leitungsfähigkeit beträgt		—	11·4
30·4	Zinn	27·4	27·4
87·5	„	13·4	13·2
oder Blei mit 83·96	„	29·67	30·18

Wir sehen also, dass die Rechnung mit der Messung so ziemlich übereinstimmt.

Wird dagegen Silber mit Blei legirt, so dass

	Rechnung	Messung
94·64 Blei enthalten sind, so ergiebt sich	19·96	28·24
46·90 „ „ „ „ „	7·73	16·53

oder mit Zinn, so dass

2·00 Zinn enthalten sind	98·2	23·00
90·00 „ „ „	20·1	11·5

oder Zinn mit Kupfer, so dass

93·57 Zinn enthalten sind	19·76	28·71

Die Veränderungen gehen zuweilen so weit, dass 2 bis 3 Volumprocent genügen, einen völligen Umschlag hervorzubringen, wie z. B. bei Gold und Silber, zu welchem es genügt, $2^1/_2$ Volumprocent Gold zuzusetzen, um die Leitungsfähigkeit des Silbers auf jene des Goldes herabzudrücken.

Wir sehen also, dass die Legirungen von Zink, Blei, Zinn und Cadmium berechenbare Widerstände geben, während die durch Legiren von Silber, Kupfer, Gold erhaltenen nicht voraus bestimmbar sind; dieser zweiten Gruppe sind noch anzufügen: Antimon, Wismuth, Eisen, Aluminium und die Amalgame.

Dieser Gegenstand ist besonders wichtig in Bezug auf die Kupferdrähte, von welchen man immer wünscht, dass sie die möglichst beste Leitungsfähigkeit besitzen; da die Beimengungen schädlich wirken, wendet man zumeist chemisch reines (galvanoplastisch) niedergeschlagenes Kupfer an. Zuweilen giebt man jedoch auch dem Kupfer Zusätze, wie z. B. Phosphor und Silicium, weil dadurch dessen Festigkeit eine grössere wird, was für längere Leitungen sehr wichtig ist, weil man an Isola-

toren und Drahtgewicht dadurch sparen kann; auf diesen Gegenstand bezügliche Tafeln sind in das Buch aufgenommen.

Die Leitungsfähigkeit desselben Metalles wird aber auch häufig dadurch verändert, wenn sein molekulares Gefüge ein anderes wird. Drähte, welche durch oftmaliges Biegen härter geworden sind, leiten schlechter, und auch ein angewendeter Zug kann Aenderungen hervorbringen, die nicht blos von einer Verlängerung durch Dehnung herrühren. Der blosse Druck genügt gleichfalls, eine Widerstandserhöhung hervorzubringen, was nicht blos theoretisches Interesse hat, wenn man bedenkt, dass die verschiedenen Kabel im Meere sowohl wie in der Erde einem oft nicht unerheblichen Druck ausgesetzt sind, wobei gleichzeitig meistens ein kräftiger Zug nachtheilig einzuwirken pflegt. Um kurz zu sein, können wir sagen: alle Umstände, welche darauf hinzielen, die Dichte der Körper oder ihr Gefüge zu ändern, dasselbe z. B. krystallinisch zu machen, wie dies anhaltende Erschütterungen, ja der Stromdurchgang allein thut, verursachen eine Aenderung des Leitungswiderstandes und meistens im ungünstigen Sinne.

Aber auch nach allen Richtungen hin leiten die verschiedenen Stoffe nicht gleichförmig und gilt dies insbesondere von Krystallen, welche nicht in das tesserale System gehören. Auch ein einseitiger Druck kann diese Erscheinung hervorbringen, und leiten dann die Körper in der Richtung des Druckes besser.

Jedoch nicht blos Wärme und mechanische Einwirkung können die Leitungsfähigkeit verändern, sondern auch sogar das Licht, und zeigen einzelne Stoffe in dieser Richtung besonders auffallende Veränderungen.

Amorphes, glasiges Selen leitet gar nicht, beginnt aber bei 80 Grad zu leiten; wird es jedoch durch einige Zeit auf 140 Grad erhitzt, so geht es in die graue körnige Modification über und leitet auch nach dem Abkühlen, jedoch ist sein Leitungsvermögen bei höherer Temperatur grösser, und es sinkt nur, wenn der Schmelzpunkt bei 217 Grad erreicht ist, dann aber um ein Bedeutendes.

Eine plötzliche Abkühlung des auf 200 Grad erwärmten krystallinischen Selens steigert die Leitungsfähigkeit auf die sechzehnfache Grösse; nach längerer Zeit verliert es aber dann das bessere Leitungsvermögen, bis dieses mit jenem des langsam erkalteten Selens übereinstimmt.

Was endlich die Veränderung des Leitungsvermögens durch den Einfluss des Lichtes betrifft, so haben Siemens und Adams gefunden, dass die Zunahme annähernd proportional ist der Quadratwurzel der Lichtstärke.

Die Dauer der Belichtung hat umsoweniger Einfluss, je mehr man sich gehütet hat, bei der Ueberführung des amorphen Selens in den krystallinischen Zustand die Temperatur von 100 Grad zu überschreiten.

Selen, welches den Process bei 200 bis 210 Grad durchgemacht hat (metallisches Selen), erlangt hingegen nach einigen Secunden die beste Leitungsfähigkeit, zeigt aber dann bei längerer Belichtung sogar eine Abnahme, die nach einiger Dauer das Leitungsvermögen bis aufs Minimum zurückführen kann.

Von der oben erwähnten Eigenschaft hat Siemens bei seinem Photometer und Bell für sein Photophon Gebrauch gemacht. Näheres siehe: VI. Bd. der Elektrotechnischen Bibliothek.

Pulver und poröse Stoffe und leicht sich berührende Leiter verändern ihre Leitungsfähigkeit je nach dem Druck, welchem ihre Theilchen ausgesetzt sind.

Nach Aufhebung des Druckes herrscht nicht mehr der ursprüngliche Widerstand, sondern ein geringerer; wird jedoch abermals ein Druck ausgeübt, so kann man bei stufenweisem Vorwärtsschreiten bei gleicher Druckzunahme dieselben Aenderungen wie das erstemal erhalten, wird aber eine gewisse Grenze überschritten, so ändern sich abermals die Verhältnisse.

Geringe Druckschwankungen, wie sie etwa Tonschwingungen an zwei lose aufeinanderliegenden Kohlenstücken dadurch hervorbringen, dass diese in Schwingungen versetzt werden, bringen auch ein proportionales Schwanken der Leitungsfähigkeit des Systemes hervor.

Auf diese Beobachtung gestützt, haben Lütge und kurz darauf Hughes ihre Mikrophone zusammengestellt. Edison's Mikrotasimeter, welches aus einer Kohlenplatte, die zwischen zwei Platinplättchen liegt, auf deren eine ein Metallstab drückt, sobald es sich dehnt, besteht, gründet sich gleichfalls auf die besprochene Zunahme der Leitungsfähigkeit.

Einen ähnlichen Apparat, bei dem ein Winkelhebel auf ein Säulchen von Kohlenscheiben stärker oder schwächer drückt, je nachdem der Draht, welcher den Winkelhebel andrückt, unter dem Einflusse des Stromes sich erwärmend, länger oder kürzer wird, benutzt Siemens als Stromregulator für schwache Ströme.

Feste Salze leiten bei niederer Temperatur gar nicht, beginnen jedoch ein Leitungsvermögen zu zeigen, ehe sie noch den Schmelzpunkt erreichen.

Aehnliches kann man bei Glas beobachten.

Kupfersulfatkrystalle, Mangansulfat in Platten geschnitten, Kaliumalaun-Parallelopipede leiten den Strom von zwanzig Meidinger-Elementen, Seignetsalzkrystalle bedürfen hierzu einer Erwärmung des Quecksilbers, welches als Zu- und Ableitung diente, auf 40 Grad, wie wir Wiedemann's Galvanismus entnehmen.

Erstere Angaben sind wichtig, da daraus klar hervorgeht, dass Krystallwucherungen bei einer stärkeren Säule leicht Stromverluste herbeiführen können, auch dann, wenn die Salze ganz trocken sind.

Säuren bilden, so lange sie wasserfrei sind, sehr schlechte Leiter mit Ausnahme der Cyanwasserstoffsäuren, ebenso besitzen fette Oele eine sehr geringe Leitungsfähigkeit, welche sich bei höherer Temperatur etwas vermehrt.

Ein ähnliches Verhalten zeigen die übrigen Isolatoren, wie Wachs, Paraffin, Ebonit, Guttapercha, dessen Ursache in der schon besprochenen Convection liegen dürfte.

Reines destillirtes Wasser leitet fast gar nicht, doch genügen schon Spuren von Salzen, welche ebenfalls schlechte Leiter sein können, um die Leitungsfähigkeit bedeutend zu erhöhen, ja es genügt, dass destillirtes Wasser einige Zeit in einem Glasgefäss aufbewahrt wird.

Es würde uns zu weit führen, wollten wir das Verhalten einzelner Salzlösungen nach ihrem Sättigungsgrad besprechen. Wir werden uns bemühen, über diesen Gegenstand sorgfältig zusammengestellte Tafeln anfügen zu können. Es ist auch hier nicht der Ort, das Verfahren anzugeben, welches man zur Bestimmung des Leitungswiderstandes solcher Salz- oder Säurelösungen einschlagen muss, und wollen wir nur beiläufig er-

wähnen, dass es nicht angeht, die Flüssigkeitswiderstände etwa so wie die Drahtwiderstände zu messen, da man in Folge der sogenannten Polarisation, welche von der Zersetzung der Flüssigkeit herrührt, und auch wegen der Leitung durch Convection stets ein zu grosses Ergebniss erhalten würde. Ueber diesen Gegenstand werden wir später näheren Aufschluss geben.

Gleichheit der Stromstärke an den verschiedenen Stellen des Stromkreises.

Da uns bereits bekannt ist, dass verschiedene Leiter auch dem Stromdurchgang verschiedenen Widerstand entgegensetzen, dass also der Strom überhaupt nicht ungehindert durch die Leiter strömt, könnten wir leicht veranlasst werden, zu vermuthen, dass seine Kraft immer mehr und mehr abnehme, je weiter entfernt die untersuchte Stelle des Leiters von der Erzeugungsstätte des Stromes ist. Ueber diese Frage eine entscheidende Antwort zu erlangen, wollen wir uns der Magnetnadel bedienen, die ja, wie wir wissen, der Stromstärke entsprechend stärker oder weniger stark abgelenkt wird.

Wir spannen demnach einen Draht in der Richtung des magnetischen Meridians aus, so dass die Richtung unserer Magnetnadel mit der Richtung des Drahtes übereinstimmt, verbinden dann die Enden des Drahtes, den wir an verschiedenen Stellen spiralförmig eingerollt haben, mit den Elektroden unseres Elementes. Halten wir jetzt unter was immer für eine Stelle unsere Magnetnadel, so wird sie immer dieselbe Ablenkung aufweisen.

Dass diese Gleichheit auch dann herrscht, wenn der Stromkreis Stoffe verschiedener Art als Leiter enthält, flüssige sowohl als feste, hat Fechner schon vor mehr als 50 Jahren gezeigt, indem er Glasröhren, welche die betreffenden Flüssigkeiten enthielten, einschaltete.

Aber auch die Stromquelle selbst ist nicht der Sitz einer grösseren Kraft, was leicht auf diese Weise nachgewiesen werden kann, dass wir dem Gefässe eine gestreckte Gestalt geben und die Elektrode an den Enden derselben aufstellen, eine darüber oder darunter gehaltene Magnetnadel zeigt dieselbe Stromstärke wie im übrigen Schliessungskreise an.

Die eben klargelegte Thatsache lässt sich sehr leicht als voraussetzbar ansehen, wenn wir die Elektricitätsmenge mit einer Flüssigkeitsmenge vergleichen, die durch Röhren fliesst, wie der Strom durch unsere Leiter.

Da die Stromstärke doch nichts Anderes ist, als die Elektricitätsmenge, welche den Querschnitt in einer gewissen Zeiteinheit durchfliesst, mit einer Geschwindigkeit, welche von der Potentialdifferenz abhängt, so können wir jeden Strom mit einer Flüssigkeit vergleichen, welche von einer gewissen Höhe durch Röhren verschiedener Weite nach abwärts fliesst.

Verengen wir an einer Stelle des Röhrenstranges den Querschnitt, so wird nicht blos durch diesen in der Zeiteinheit weniger Flüssigkeit strömen, sondern dieselbe auch gleich viel an allen anderen Querschnitten abnehmen.

Die Schlussfolgerung, welche wir aus unserer Betrachtung ziehen können, wird also lauten:

„Die Stärke des Stromes ist in allen Theilen des Schliessungskreises gleich gross, mag der-

selbe auch aus was immer für Leitern gebildet sein."

Oder kürzer:

„In derselben Zeit fliesst durch jeden Querschnitt des Stromkreises dieselbe Elektricitätsmenge."

Ohm'sches Gesetz.

Wie wir soeben gesagt haben, hängt die Stromstärke von der Elektricitätsmenge ab, welche in der Zeiteinheit den Querschnitt eines Leiters durchströmt; diese Menge aber ist wieder abhängig von der Potentialdifferenz oder der elektromotorischen Kraft, welche die Bewegung der Elektricitätsmenge in unserem Leiter veranlasst, als auch von dem Widerstand, welcher in demselben der Fortbewegung dieser Elektricitätsmenge entgegengesetzt wird — Verhältnisse, welche uns schon aus früheren Untersuchungen bekannt sind.

Es fragt sich nun, ob sich diese Verhältnisse nicht durch einen bestimmten Satz, durch eine Formel in engere Grenzen bringen lassen.

Stellen wir uns vor, wir hätten diese Verhältnisse an einem bestimmten Stromkreise zu untersuchen, der aus einem Elemente und einem dessen Pole verbindenden Leiter besteht. Um zu erfahren, welchen absoluten Einfluss eine Verminderung des Widerstandes auf die Stromstärke habe, wollen wir ein zweites, ganz gleiches Element, versehen mit demselben Leiter, daneben stellen und von beiden Elementen die Zinkpole mit dem Galvanometer verbinden, und ebenso beide Kupferpole; das Gal-

vanometer wird uns sofort anzeigen, dass der Strom die doppelte Stärke erlangt habe.

Fragen wir uns, woher dies kommen kann, so könnten wir nur zwei Fälle als massgebend hinstellen, entweder haben wir durch die Benutzung der beiden Elemente die elektromotorische Kraft, die Potentialdifferenz, erhöht oder den Widerstand vermindert, den Querschnitt, durch welchen die Elektricitätsmenge strömt, vergrössert. Kehren wir abermals zu unserem Gefässe zurück, aus welchem eine Flüssigkeit unter einem bestimmten Gefälle, hier unsere Potentialdifferenz, ausströmt, so wird dadurch, dass wir zwei derlei Vorrichtungen nebeneinander aufstellen, gewiss die gelieferte Flüssigkeitsmenge doppelt so gross, während das Gefälle, der Druck der gleiche bleibt.

Die Röhrenweite ist also doppelt so gross geworden, was bei unserem Stromkreis die Leitungsfähigkeit bedeutet, oder, wenn wir vom Widerstande sprechen, besagt, er ist halb so gross geworden. Wir können somit schliessen: Sinkt der Widerstand auf die halbe Grösse, so steigt die Stromstärke auf das Doppelte.

Um aber jeden Irrthum auszuschliessen, wollen wir noch einen in der Beziehung beweisenden Versuch anstellen, damit klar nachgewiesen wird, durch unsere Verbindung zweier Elemente sei die elektromotorische Kraft ungeändert geblieben. Wir verbinden die Kupferpole unserer beiden Elemente mit dem Galvanometer, ferner die Zinkpole miteinander und mit dem Zinkpole eines dritten Elementes, das dieselbe Zusammensetzung und Grösse hat wie eines der beiden, den freibleibenden Kupferpol legen wir gleichfalls an das Galvanometer an. War die elektromotorische Kraft wirklich ungeändert geblieben,

so muss jetzt die des einzelnen Elementes im Stande sein, jene der beiden Elemente zu vernichten, da sie ja entgegengesetzt gerichtet ist, gerade so, als ob wir mit den beiden Gefässen ein drittes mit gleichem Flüssigkeitsstand verbunden hätten, in welchem Falle nach dem Communicationsgesetze auch der Inhalt aller drei Gefässe in Ruhe bleiben würde. Das Galvanometer zeigt dadurch, dass seine Nadel den Nullpunkt nicht verlässt, wirklich an, dass die elektromotorische Kraft ungeändert geblieben ist. Da sich die elektromotorischen Kräfte aufheben, findet keine Bewegung der Elektricitätsmengen statt. Nun wollen wir unsere Elemente auf folgende Weise verbinden.

Wir führen den Kupferpol zum Galvanometer, den Zinkpol zum Kupferpol des nächsten Elementes, dessen Zinkpol zum Zinkpol des dritten und dessen Kupferpol zum Galvanometer, wir erhalten einen Ausschlag, der so stark ist, wie der eines einzelnen Elementes und schliessen daraus, dass wir die elektromotorische Kraft verdoppeln, sobald wir zwei Elemente hintereinander, d. h. das Kupfer mit dem Zink, verbinden. Nun schalten wir das entgegengespannte dritte Element aus und schalten dafür ein zweites ganz gleiches Galvanometer ein; beobachten wir den Ausschlag unserer Galvanometer, so gewahren wir zu unserem Erstaunen, dass der Ausschlag nicht grösser als der eines einzelnen Elementes ist.

Ueberlegen wir ruhig, so müssen wir uns sagen, dass ja auch der Widerstand gegen früher doppelt so gross geworden ist.

Hieraus geht für uns klar hervor, dass, wenn der Widerstand und die elektromotorische Kraft in gleichem Verhältniss zunehmen, die Stromstärke dieselbe bleibt.

Aus diesen beiden Versuchen, welche ergeben haben: die Stromstärke steigt auf das Doppelte, wenn der Widerstand auf die Hälfte sinkt, und die Stromstärke bleibt ungeändert, wenn die elektromotorische Kraft und der Widerstand doppelt so gross wird, was wir auch umgekehrt so nehmen können: wird der Widerstand auf die Hälfte vermindert, wie oben, gleichzeitig aber auch die elektromotorische Kraft, so bleibt die Stromstärke ungeändert — können wir folgern, dass die Stromstärke der elektromotorischen Kraft proportional, aber umgekehrt proportional dem Widerstande im Stromkreise sei.

Nennen wir J die Stromstärke, W den Widerstand, E die elektromotorische Kraft, so haben wir

$$J = \frac{E}{W}.^{1)}$$

Die Entdeckung dieses wichtigen Grundgesetzes verdanken wir dem deutschen Gelehrten Ohm, der selbes schon im Jahre 1827 in einer Denkschrift bekannt machte. Er gelangte zur Erkenntniss desselben auf ganz theoretischem Wege, während Pouillet kurze Zeit darauf dasselbe durch Versuche klarlegte.

Zweckmässige Schaltung von Stromquellen.

Wie wir eben entwickelt haben, gilt für einen Stromkreis in Bezug auf die Stromstärke die Formel:

$$J = \frac{E}{W}$$

---

[1]) Dieser Ausdruck wäre noch mit einem constanten Factor K zu multipliciren, dessen Werth abhängt von der Art der Einheiten, in welchen E und W ausgedrückt sind. In unserem Falle verstehen wir unter E Volta-Einheiten, unter W Ohms, wodurch $K = 1$ wird.

Nun wissen wir aber, dass wir zweierlei Widerstände unterscheiden müssen, jenen, der in der Stromquelle selbst vorhanden ist, und jenen, den wir durch den Leiter, welcher die Pole verbindet, einschalten. Den Widerstand der Stromquelle, den man auch den wesentlichen oder inneren Widerstand nennt, wollen wir mit Wi bezeichnen, den anderen, welcher der äussere Widerstand heisst, mit Wa.

Das W setzt sich also zusammen aus: Wi und Wa, daher

$$W = Wi + Wa$$

und

$$J = \frac{E}{Wi + Wa}$$

Wir kennen bereits zwei Arten, auf welche es uns möglich ist eine Veränderung sowohl des W wie des E hervorzubringen, nämlich beides durch geeignete Verbindung der Elementpole. Wir wollen nun untersuchen, ob es unter allen Umständen zutrifft, dass eine Verbindung der Elemente hintereinander, wie in unserem betrachteten Falle, die Stromstärke ungeändert lässt.

Denken wir uns, wir hätten n Elemente verbunden, dabei aber nicht, wie in unserem Beispiele, nur einfach die ganzen Längen der Leitungsdrähte beibehalten und eine zweite Bussole eingeschaltet, sondern davon nur einen Betrag m benutzt, so würden wir erhalten

$$J\,n = \frac{n\,E}{n\,W\,i + m\,W\,a} = \frac{E}{Wi + \frac{m}{n}\,W\,a}.$$

Ist nun $\frac{m}{n} < 1$, so ist offenbar die Stromstärke gestiegen und $Jn >$ als J; denken wir uns aber wieder das m unendlich klein, so dass $m\,Wa$ gegen $n\,Wi$ vernachlässigt werden kann, so erhalten wir von n hinter-

einander geschalteten Elementen keinen stärkeren Strom als wie von einem einzigen kurz geschlossenen Elemente, denn wir haben dann

$$Jn = \frac{nE}{n\,Wi} = \frac{E}{Wi},$$

wie wir die Formel für das J auch schreiben werden, wenn wir $Wa = O$ setzten, d. h. das Element kurz schliessen, wie man das Verbinden der Pole mit einem Leiter von verschwindend kleinerem Widerstande nennt, denn es geht dann

$$J = \frac{E}{Wi + Wa} \text{ auch über in } J = \frac{E}{Wi}.$$

Durch die bis jetzt angestellten Betrachtungen werden wir unwillkürlich zur Frage gedrängt: In welchem Verhältnisse soll aber das Wa[1]) zum Wi stehen, damit das Element und somit auch mehrere miteinander verbundene Stromquellen am besten ausgenutzt werden.

Auch dies geht aus dem bisher Besprochenen hervor.

Wir haben gesehen, dass ein Hintereinanderschalten der Elemente nur dann nützlich wirkt, wenn ein grösserer äusserer Widerstand zu überwinden ist, der aber dann nicht gleich der Summe der inneren Widerstände sein soll, sobald wir eine stärkere Wirkung als die eines einzelnen Elementes ist, erzielen wollen, oder wir müssen dann noch so viele Elemente hinzufügen, dass $m\ Wa$ so oftmal kleiner wie $n\ .\ Wi$ wird, als ein stärkerer Strom gewünscht wird wie jener ist, den ein Element liefert.

---

[1]) Unter Wa ist hier hauptsächlich die Leitung verstanden, wird Wa grösser, weil in Apparaten bei zweckmässiger Anordnung mehr Draht aufgewendet ist, so erhalten wir bei gleicher Anzeige der Bussole dennoch stärkere Wirkungen, steigt Wa, weil der Draht dünner ist, so erhalten wir Wärme etc. etc., wie wir später erfahren werden.

Wollen wir uns aber mit der Wirkung eines Elementes begnügen, dieses aber ganz ausnutzen, so müssen wir den äusseren Widerstand gleich dem inneren Widerstand machen.

Ehe wir weiter fortfahren, wollen wir überlegen, was geschieht, wenn wir eine Säule kurz schliessen, in welcher alle Pole gleicher Art miteinander verbunden sind.

Für einen solchen Fall haben wir aus:

$$J = \frac{E}{Wi + Wa}, \text{ weil } Wa = O,$$

für ein Element kurz geschlossen $J = \frac{E}{Wi}$,

für n Elemente . . . . . $Jn = \frac{E}{\frac{Wi}{n}} = \frac{nE}{Wi}$,

d. h. die Stromstärke ist der Anzahl der Elemente proportional.

Machen wir $Wa = Wi$, so haben wir dann die Hälfte dieser Stromstärke, weil $Jn = \frac{E}{\frac{Wi}{n} + Wa}$ dann

übergeht in $\frac{E}{\frac{Wi + Wa}{n}} = \frac{E}{\frac{2\ Wi}{n}} = \frac{nE}{2Wi}$, und

wächst Wa endlich immer mehr, so kann, wie wir oben für hintereinander geschaltete Elemente gezeigt haben, die Wirkung auch in die eines Elementes, das kurz geschlossen ist, übergehen,

wenn $Wa = (n-1)\ Wi$;

$$Jn = \frac{nE}{Wi + (n-1)\ Wi} = \frac{nE}{nWi} = \frac{E}{Wi}.$$

Vortheilhafteste Verbindung einer gegebenen Anzahl von Elementen.

Ehe wir auf diesen Gegenstand näher eingehen, wollen wir bemerken, dass jene Art, die Elemente zu verbinden, bei welcher der Zinkpol mit dem Kupferpol des nächstfolgenden Elementes gekuppelt wird, die Verbindung zur Säule, zur Kette, auf Spannung oder die Hintereinanderschaltung der Elemente heisst.

Werden sämmtliche Elemente so verbunden, dass alle gleichnamigen Pole gekuppelt sind, so nennt man das: Verbindung auf Oberfläche oder die Nebeneinanderschaltung.

Für beide Arten der Schaltung von Elementen gebraucht man auch den Ausdruck Verbindung zur Batterie.

Gesetzt, wir hätten n Elemente gegeben und könnten sie nach Belieben zur Kette oder auf Oberfläche verbinden, um einen gewissen Zweck zu erreichen, z. B. den inneren Widerstand gleich einem gegebenen äusseren zu machen, nennen wir K die Anzahl der zur Kette O auf Oberfläche verbundenen Elemente, so haben wir

$$n = KO.$$

Ist Wi der Widerstand jedes einzelnen Bechers, so wird also der Widerstand unserer Zusammenstellung $= \frac{K\ Wi}{O}$ sein.

Dieser Widerstand soll nun gleich werden dem äusseren Widerstande $Wa = x\ Wi$, wir haben also $\frac{K\,Wi}{O} = Wa$, nun ist aber $O = \frac{n}{K}$, also $Wa = \frac{K^2\,Wi}{n}$.

Daraus folgt: $K^2 = n\frac{Wa}{Wi}$ oder

$$K = \sqrt{n\frac{Wa}{Wi}}, \text{ da nun } Wa = x\,Wi$$

$$K = \sqrt{n\,x} \qquad x = \frac{Wa}{Wi}.$$

Hätten wir 16 Elemente gegeben und sollten mit denselben in einem Widerstand Wa arbeiten, der $= 32$ ist, während der Widerstand Wi jedes Elementes $= 8$ ist, so hätten wir

$$x = \frac{Wa}{Wi} = \frac{32}{8} = 4,$$

$$K = \sqrt{n\,x};\ n = 16,$$

$$K = \sqrt{4 \times 16} = \sqrt{64} = 8,$$

d. h. wir hätten 8 Elemente hintereinander zu schalten und diese 2 Säulen nebeneinander zu verbinden, oder je 2 Elemente nebeneinander zu kuppeln und diese Doppelelemente hintereinander zu schalten, wir erhalten dann

$$J = \frac{8\ E}{8\frac{Wi}{2} + Wa} = \frac{8\ E}{32 + 32}.$$

Wurde einmal für einen gegebenen Stromkreis eine bestimmte Anzahl Elemente so verbunden, dass sie das Strommaximum geben, so ist für eine doppelt so starke Wirkung die vierfache Zahl von Elementen nothwendig, für eine dreifache die neunfache und so fort; mit anderen Worten, die Zunahme findet nur der Quadratwurzel aus der Elementzunahme entsprechend statt.

Wollten wir oben statt $\frac{8\ E}{64}$ oder $\frac{E}{8}$ nur $\frac{E}{4}$ er-

halten, so müsste es offenbar im Zähler statt 8 16 heissen, und im Nenner $\frac{16\,Wi}{4}$, statt $\frac{8\;Wi}{2}$,

wodurch wir erhalten:

$$\frac{16\;E}{\frac{16\;Wi + Wa}{4}} = \frac{16\;E}{32 \times 32} = \frac{E}{4}.$$

Denn wollen wir die elektromotorische Kraft auf das Doppelte steigern, also statt 8 Elemente 16 hintereinander schalten, so müssen wir gleichzeitig daran denken, den Widerstand um die Hälfte zu verringern, was nur dadurch geschehen kann, dass wir zwei solcher Ketten nebeneinander schalten. Wir sind eben bei einer derartigen Zusammenstellung an das $\frac{KWi}{O} = Wa$ gebunden, vermehren wir K um das Doppelte, so muss auch das O um das Doppelte zunehmen, was für $n = KO$ das Vierfache giebt.

$$2\;K.2O = 4\;KO = 4n$$
$$3\;K.3O = 9\;KO = 9n$$

u. s. w.

Stromverzweigung, Kirchhoff's Sätze.

Wir haben bisher immer angenommen, dass dem Strom nur ein Weg geboten sei, in der Praxis kommen jedoch sehr häufig Fälle vor, in welchen dies nicht der Fall ist.

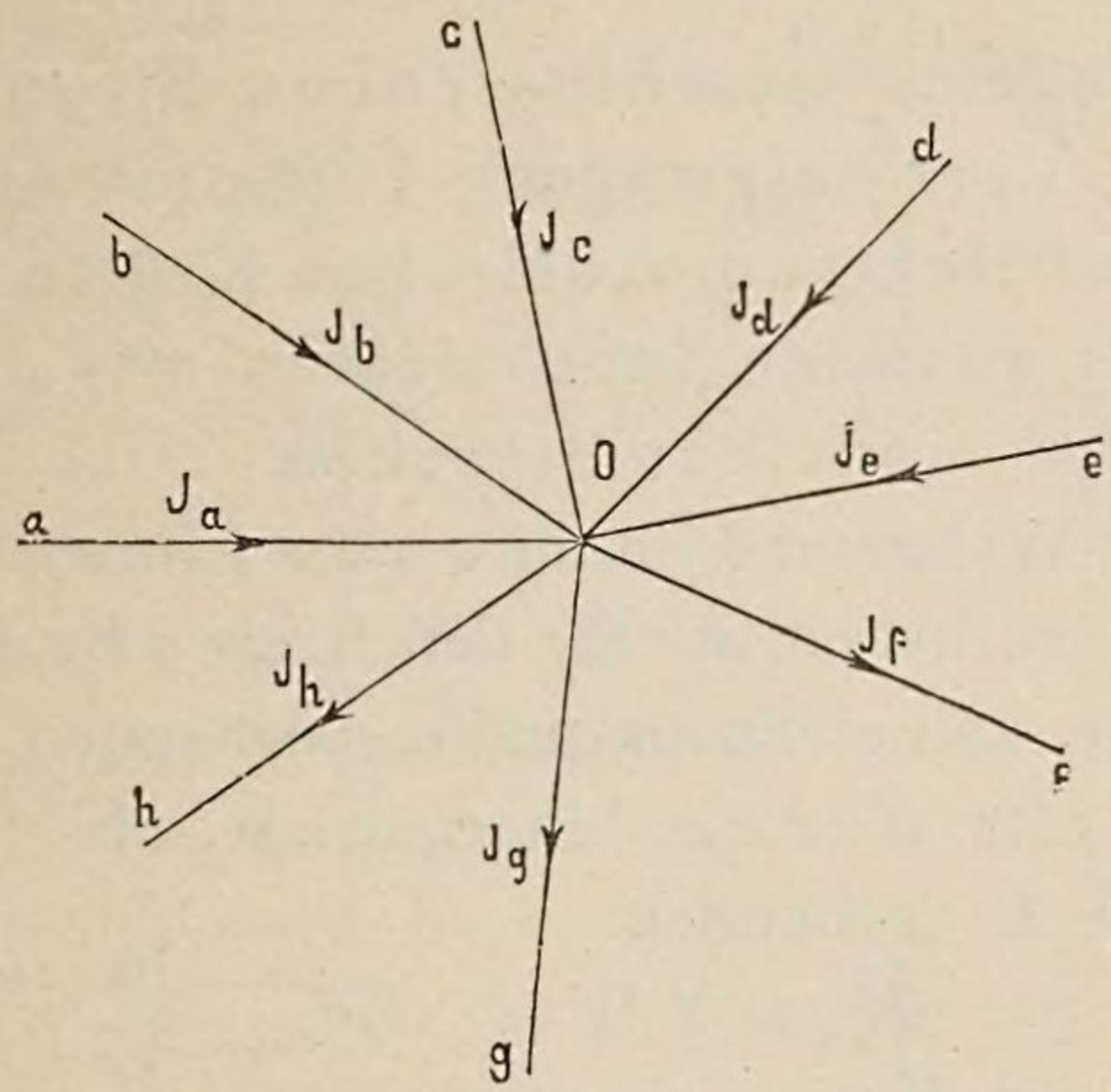
Sobald das eben Gesagte zutrifft, ist es meistens wünschenswerth, zu wissen, ob und wie sich dann der Strom auf die verschiedenen Zweige der Leitung vertheilt,

oder vorausbestimmen zu können, dass der Strom in einem gewissen Zweig eine bestimmte Stärke habe.

Ja zuweilen gestaltet sich diese Angelegenheit noch verwickelter, dann nämlich, sobald nicht blos eine Stromquelle, sondern deren mehrere im Stromkreise vorhanden sind.

Wenn von einer Verzweigung die Sprache ist, müssen selbstverständlich Knotenpunkte vorhanden sein, von

Fig. 17.



welchen selbe ausgeht, diese werden auch Kreuzungsstellen genannt; in Bezug auf dieselben lautet das von Kirchhoff aufgestellte Gesetz:

Die algebraische Summe aller nach einer Kreuzungsstelle gehenden und von dort kommenden Ströme (sobald man letzteren das entgegengesetzte Zeichen giebt) ist gleich Null.

Dieser Satz ist unschwer zu verstehen. Denken wir uns, wir hätten in *O* (Fig. 17) einen solchen Kreuzungspunkt, gegen welchen in den Leitern *a O*, *b O*, *c O*, *d O*, *e O*

Elektricität mit den Intensitäten Ja, Jb, Jc, Jd, Je strömt, während selbe durch die Leiter Of, Og, Oh abströmt, so muss, da von einem Mehrabströmen als ankommt ohnehin nicht die Rede sein kann, sobald nicht eine Anhäufung von Elektricität in O angenommen wird, was ja ebenfalls unzulässig ist, $Ja + Jb + Jc + Jd + Je = Jf + Jg + Jh$ sein, woraus $Ja + Jb + Jc + Jd + Je - Jf - Jg - Jh = o$ hervorgeht.

Ein zweiter Satz, welchen Kirchhoff aufgestellt hat, lautet:

In jedem geschlossenen Stromkreis, in welchem Verzweigungen vorkommen, ist die Summe der elektromotorischen Kräfte gleich den Producten aus den Intensitäten mit den Widerständen der einzelnen Strecken.

Ist der Widerstand in $a\,b\,c = w$, in $a\,d\,c = w_1$, in $a\,e\,c = W$, so haben wir für den Kreis $a\,b\,c\,d\,a$ (Fig. 18), in welchem keine Stromquelle vorhanden ist, $i\,w - i_1\,w_1 = o$; für $a\,b\,c\,e\,a$ hingegen ist die elektromotorische Kraft E vorhanden.

$$E = J\,W + J\,w,$$

ebenso für den Kreis $a\,d\,c\,e\,a$

$$E = J\,W + i\,w_1.$$

Da nun nach dem ersten Satz

$$J - i - i_1 = o,$$

so erhalten wir

$$J = \frac{E\,(w + w_1)}{w\,w_1 + W\,w + W\,w_1}$$

$$i = \frac{E\,w_1}{w\,w_1 + W\,w + W\,w_1}$$

$$i_1 = \frac{E\,W}{w\,w_1 + W\,w + W\,w_1}$$

Ist nun Wg der Gesammtwiderstand, welcher dem Strom geboten wird, so folgt für denselben aus:

$$J = \frac{E\,(w + w_1)}{w\,w_1 + W\,w + W\,w_1}, \text{ weil } Wg = \frac{E}{J} \text{ ist}$$

$$Wg = \frac{w\,w_1 + W\,w + W\,w_1}{w + w_1} = W + \frac{w\,w_1}{w + w_1},$$

somit ist der Widerstand von a bis c über b und d

$$= Wg - W = \frac{w\,w_1}{w + w_1}$$

Fig. 18.

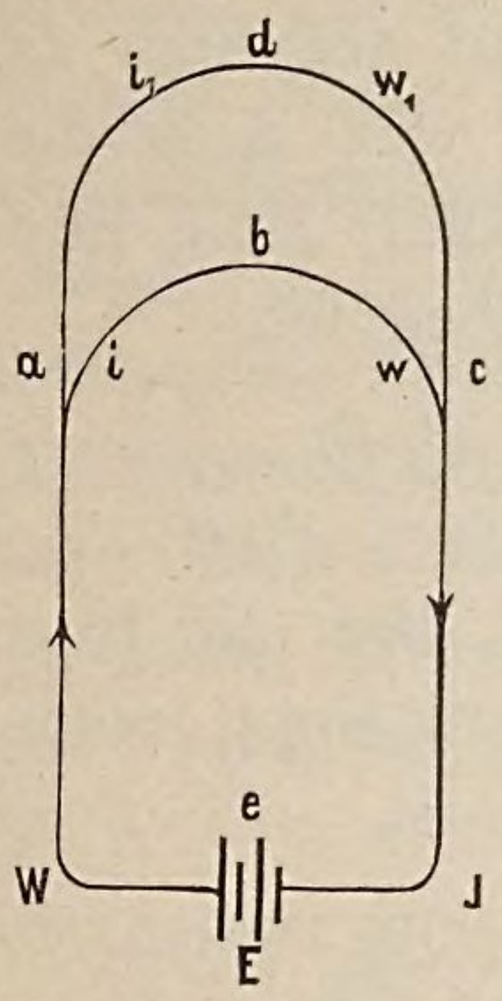
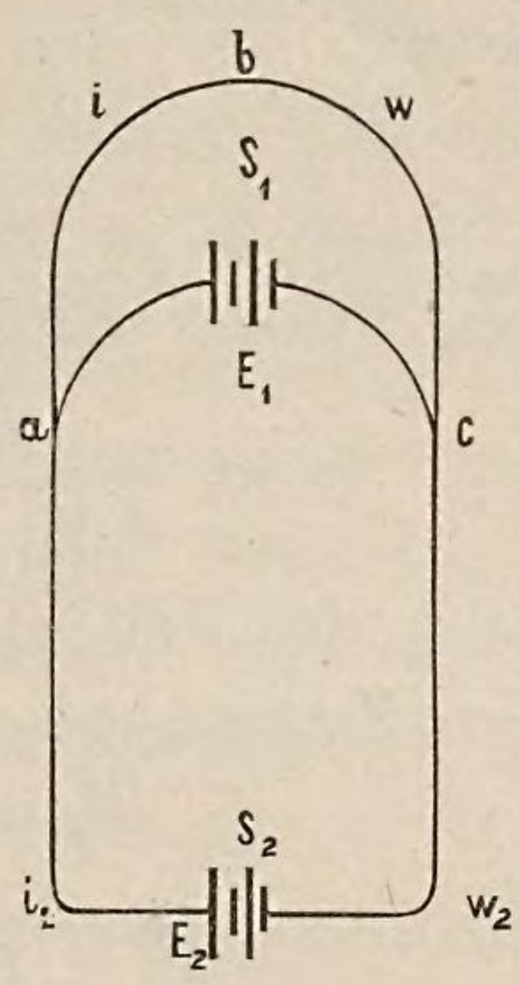


Fig. 19.



Sind in einem Stromkreis mehrere elektromotorische Kräfte thätig, z. B. zwei Säulen S_1 und S_2 mit den elektromotorischen Kräften E_1 und E_2, laufen ferner die Ströme in gleicher Richtung, weil die gleichen Pole der Säulen also nach a und c geführt sind, so haben wir nach dem ersten Kirchhoff'schen Satze (Fig. 19), sobald

Leiter	Stromstärken	Widerstände	Elektromot. Kräfte
$a\,b\,c$	i	w	0
$a\,S_2\,c$	i_2	w_2	E_2
$a\,S_1\,c$	i_1	w_1	E_1

$$i - i_1 - i_2 = 0$$
$$i\,w + i_1\,w_1 = E_1$$
$$i\,w + i_2\,w_2 = E_2$$
$$i_1\,w_1 - i_2\,w_2 = E_1 - E_2$$
$$i = \frac{E_2\,w_1 + E_1\,w_2}{w\,w_1 + w_1\,w_2 + w_2\,w}$$
$$i_1 = \frac{E_1\,(w + w_2) - E_2\,w}{w\,w_1 + w_1\,w_2 + w_2\,w}$$
$$i_2 = \frac{E_2\,(w + w_1) - E_1\,w}{w\,w_1 + w_1\,w_2 + w_2\,w}.$$

Betrachten wir den Fall, in welchem E_1 und E_2 entgegengesetzte Zeichen haben, weil nicht die gleichen Pole der Säulen zu a und b geführt sind, und nehmen an, dass E_1 negativ wird, so haben wir

$$i = \frac{E_2\,w_1 - E_1\,w_2}{w\,w_1 + w_1\,w_2 + w_2\,w}$$

und es kann der Fall eintreten, dass die Intensität des Stromes im Zweige $a\,b\,c$ auf Null sinkt, wenn nämlich

$$E_2\,w_1 = E_1\,w_2$$

wird oder

$$E_1 : E_2 = w : w_2$$

ist, d. h. die elektromotorischen Kräfte sich verhalten wie die zugehörigen Widerstände.

Aus $i\,w + i_1 w_1 = 0$ folgt auch

$$i : i_1 = w_1 : w = \frac{1}{w} : \frac{1}{w_1},$$

d. h. die Stromstärken in den Zweigen sind umgekehrt proportional den Widerständen in denselben.

Wäre $w = w_1$, so wäre die Stromstärke in beiden gleich; da nun dieselbe vor und nach dem Knoten a, nach dem ersten Satze von Kirchhoff, gleich ist, so muss

in jedem Zweig die Intensität die halbe sein, was sich auch aus

$$Wg - W = \frac{w\,w_1}{w + w_1},$$

wenn $w = w_1$ ist, ergiebt, da dann

$$Wg - W = \frac{w^2}{2w} = \frac{w}{2}$$

wird.

An die obige Proportion wird man sich auch erinnern müssen, wenn es sich darum handelt, die Stromstärke in einem Zweig auf eine bestimmte Grösse zu bringen oder in einem Nebenschlusse Strom von einer bestimmten Intensität zu haben.

Soll dieselbe z. B. $^1/_{10}$ des ungetheilten Stromes sein, so wird der andere Zweig $^9/_{10}$ haben müssen, daher wird auch sein Widerstand neunmal kleiner wie der des Nebenschlusses sein müssen oder allgemein: Soll durch einen Zweig ein $n$mal kleinerer Strom gehen, so muss der Widerstand im anderen Zweige $(n - 1)$mal kleiner sein.

Hierher gehört auch die von Wheatstone angegebene Stromverzweigung für Messungen.

So lange aber die beiden E gleiche Zeichen haben, kann dieser Fall nie eintreten.

Die Stromintensitäten von i_1, i_2 können hingegen den Werth 0 erreichen, tritt dies bei i_1 ein, so ergiebt sich

$$E_1\,(w + w_2) = E_2\,w,$$

es geschieht also, wenn sich

$$E_1 : E_2 = w : w + w_2$$

verhält.

Zu den beiden Sätzen von Kirchhoff hat Boscha noch einige hinzugefügt, welche sich wohl aus den beiden

anderen leicht ergeben, aber in vorkommenden Fällen die Betrachtung wesentlich vereinfachen, sie lauten:

1. „Sobald sich in einem beliebigen System von Leitern, die elektromotorische Kräfte enthalten, ein Leiter befindet, in welchem die Intensität Null ist, so bleiben die Stromintensitäten in den übrigen Leitern auch dann ungeändert, wenn man den fraglichen Leiter sammt der etwa enthaltenen elektromotorischen Kraft ausschaltet."

2. „Für den Fall, dass eine solche nicht enthalten ist, können nach der Entfernung des Leiters sogar die Punkte, an welchen er befestigt war, miteinander unmittelbar verbunden werden. Dies kann man nur dann gleichfalls ausführen, sobald eine elektromotorische Kraft in dem Leiter enthalten ist, wenn man in alle Leiter, welche in den betreffenden beiden Punkten endigen, gleich grosse, aber entgegengesetzt gerichtete elektromotorische Kräfte einführt."

3. „Kommen in einem Leitersysteme zwei Drähte vor, von welchen der eine eine elektromotorische Kraft enthält, die in dem anderen keinen Strom erzeugt, dann kann man, ohne dass eine Intensitätsänderung in diesem Leiter zu befürchten ist, den anderen entzweischneiden und ebenso umgekehrt; auch kann man geradezu die Anknüpfungspunkte des durchschnittenen Leiters miteinander verbinden, ohne dass eine Aenderung eintritt."

Ladungszeit der Leiter.

Wir haben an anderer Stelle erfahren, mit welcher ausserordentlichen Geschwindigkeit die Elektricität sich durch einen Leiter bewegt, und dass die Stromstärke im ganzen Schliessungskreise dieselbe Grösse habe, dennoch

können wir an einem langen Drahte, dessen eines Ende mit der Erde verbunden ist und in welchen an verschiedenen Stellen Galvanometer eingeschaltet sind, folgende Bemerkung machen: Wird der Draht mit dem nicht abgeleiteten Batteriepol verbunden, so verlassen nicht alle Galvanometernadeln zugleich ihre Ruhelage, und zwar am spätesten die Nadel jenes Galvanometers, welcher am Ende der Leitung eingeschaltet ist.

Auch die Grösse des Ausschlages ist verschieden. Erst nach einiger Zeit zeigen alle Galvanometer gleichen Strom an, dabei giebt sich in der ferneren Hälfte ein stetiges Anschwellen bis zur schliesslichen Grösse kund, während sich in der näheren Hälfte des Leiters ein Ueberschreiten der schliesslichen Stromstärke und eine darauffolgende Abnahme erkennen lässt.

Die Dauer dieses „veränderlichen Zustandes" ist nach Gaugain dem Quadrate der Leiterlänge proportional und abhängig von dem Leitungsvermögen, dem Querschnitte, der Capacität, welche einer Längeneinheit des Leiters zukommt, und auch davon abhängig, ob und mit welcher Isolirung der Leiter versehen ist. Die Dauer des veränderlichen Zustandes bei einem nackten Eisendraht von 4 Mm., der die Länge von einer Meile hat, beträgt 0·00000405 Secunden.

Aber auch dann, wenn das abgewendete Ende des Leiters nicht zur Erde abgeleitet ist und wir selben mit einem Pole unserer Säule in Verbindung bringen, deren zweiter mit der Erde in Verbindung steht, bekommen wir einen Nadelausschlag; dieser hält aber nur durch einen äusserst kleinen Theil einer Secunde an, er rührt davon her, dass wir zwei Leiter in Verbindung gesetzt haben, welche verschiedene Potentialwerthe besitzen.

Wie wir eingangs erfahren haben, strömt in einem solchen Falle so lange Elektricität über, bis die Potentiale beider Körper einen gleichen Werth haben, bis der zweite Leiter seine volle Ladung hat. Die Elektricitätsmenge, welche dabei in Bewegung gesetzt wird, hängt, wie bekannt, von der Potentialdifferenz der beiden Leiter und von der Grösse der Oberfläche des isolirten Leiters ab, kann daher bei langen Drähten einen grossen Werth erreichen. Von der Länge hängt auch die Dauer des Ladungsstromes ab.

Unterbrechen wir die Verbindung mit der Batterie und stellen eine solche mit der Erde her, so erfolgt ein neuer Nadelausschlag, aber im entgegengesetzten Sinne, weil wir ja abermals zwei Körper miteinander verbinden, deren einer geladen ist, während der andere, die Erde, das Potential Null hat; hätten wir das abgewendete Drahtende zur Erde geführt, so würden wir einen solchen Ausschlag der Galvanometernadel erhalten, der einen dem Ladungsstrom gleichgerichteten Entladungsstrom anzeigt. Erst bei einer Leitungslänge von über 10 bis 15 Km. und einer Spannung von 300 Volts tritt der Ladungs- und Entladungsstrom merkbar auf, die Ladung selbst hält nur ausserordentlich kurze Zeit an, da ja die Elektricität überallhin abströmen kann.

Bei isolirten Drähten, besonders Kabeln, hält die Ladung längere Zeit hindurch an, ja letztere wirken häufig ähnlich wie Leydener Flaschen, wodurch die Ladungsdauer verlängert wird, ausserdem dringt auch Elektricität in das Dielectricum ein.

Weiteres über diesen wichtigen Gegenstand zu sagen, müssen wir einem späteren Bande überlassen.

Einwirkung des Stromes auf den Leiter.

Auch bei der Besprechung dieser Frage wollen wir zuerst mit den festen Körpern beginnen und dann zu den flüssigen Leitern übergehen.

Wir wissen bereits, dass sich ein offenes galvanisches Element erwärmt, weil sich die elektrische Spannkraft, sobald sie eine gewisse Höhe erreicht hat, in Wärme umsetzt — ein Vorgang, der immer stattfindet, wenn eine Ausgleichung elektrischer Energie vor sich geht. Aus dem Gesetze von der Erhaltung der Kraft können wir ja folgern, dass dann, wenn Elektricität vernichtet wird, doch etwas Anderes, eine andere Energie an Stelle der elektrischen treten muss.

Verbinden wir die Pole unserer Säule durch einen geeigneten Draht, so findet die Erwärmung des Elementes gar nicht oder doch gewiss in bescheidenerem Masse statt.

Da aber auch jetzt eine Ausgleichung der elektrischen Spannung vor sich geht, sind wir wohl berechtigt zu schliessen, dass, wenn abermals Wärme entsteht, ein Theil derselben dem Drahte zu Gute kommen muss.

Um hierüber Gewissheit zu erlangen, senken wir eine Drahtspirale in eine Flüssigkeit ein, welche den Strom schlecht leitet, wie z. B. Alkohol, wenn er möglichst wasserfrei ist, verbinden die Enden mit der Säule und beobachten die Temperatur, welche im Augenblicke des Stromschlusses herrschte.

Nach einiger Zeit wird das eingesenkte Thermometer erkennen lassen, dass eine Wärmezunahme erfolgte, die, sobald die Temperatur der Luft ungeändert blieb, wohl nur dem Stromdurchgange zugeschrieben werden kann.

Auf eine der eben beschriebenen ähnliche Art haben Joule und Lenz die Gesetze festgestellt, nach welchen die Wärme-Entwicklung durch den galvanischen Strom in Drähten erfolgt.

Diese wichtige Angelegenheit dem Verständniss recht nahe zu bringen, wollen wir eine danach hinzielende Versuchsreihe gewissermassen im Geiste durchführen.

Denken wir uns, wir hätten zwei Platinspiralen in Gefässen mit Thermometern, wie wir oben beschrieben haben, die Widerstände beider Drähte seien aber verschieden gross, z. B. W_1 und W_2. Nachdem wir die Temperatur vor Beginn des Versuches gemessen haben, lassen wir einige Zeit den Strom kreisen und finden nach Ablauf z. B. von 15 Minuten, die Temperatur in dem einen Gefässe habe sich um x Grad, in dem anderen um y Grad erhöht. Unter Berücksichtigung der nöthigen Umstände können wir aus diesen Angaben die den beiden Flüssigkeiten zugeführten Wärmemengen berechnen, sie betragen z. B. Q_1 und Q_2 Wärme-Einheiten. Wir können noch so oft den Versuch wiederholen, so werden wir immer finden, dass sich die Wärmemengen zu einander verhalten wie die Widerstände der Leiter oder

$$Q_1 : Q_2 = W_1 : W_2;$$

wir dürfen aber nicht beizusetzen vergessen: wenn die Stromstärke für beide dieselbe ist, was in diesem Beispiele der Fall ist, da ja beide Spiralen in demselben Stromkreis liegen.

Hatten wir uns die Stromstärke J_1 gemerkt, welche herrscht, wenn W_1 und W_2 eingeschaltet sind, so können wir den Versuch noch weiter ausdehnen, indem wir jetzt eine der Spiralen ausschalten, z. B. W_2, wodurch die Stromstärke den Werth J_3 erreicht; nun lassen wir den

Strom so lange wie oben einwirken und berechnen dann aus den Angaben des Thermometers, welche Wärmemenge Q_3 jetzt entwickelt wird, so haben wir, wenn die dem Q_2 entsprechende Spirale ausgeschaltet wurde,

$$Q_1 : J_1^2 = Q_3 : J_3^2,$$

d. h. derselbe Widerstand (W_1) entwickelt in Stromkreisen mit verschiedenen Stromstärken dem Quadrate derselben entsprechende Wärmemengen in gleicher Zeit.

Wir könnten uns ferner überzeugen, dass es gleichgiltig ist, wie wir das J_1 und das J_3 erhalten, ob die Stromquelle gerade die hierzu nöthige Stärke hat oder ob wir deren Intensität erst durch Einschalten von Widerständen auf diesen Werth erniedrigen müssen, wodurch klargelegt wird, dass die Wärme-Entwicklung in einem Leiterstück von der elektromotorischen Kraft unabhängig ist.

Die beiden Erfahrungen, welche wir auf diese Weise gemacht haben, können wir kurz in einem einzigen Satze zusammenfassen, indem wir sagen:

„Die in einem Leiter entwickelte Wärmemenge ist dessen Widerstand und dem Quadrate der Stromstärke proportional, welche die Erwärmung veranlasst," oder

$$Q = W . J^2,$$

ein Satz, welcher das Joule'sche Gesetz genannt wird.

Wir sind wohl berechtigt, anzunehmen, dass Wärme nicht blos in unseren beiden Spiralen, sondern im ganzen Stromkreise frei wird, in welchem wir die beiden Widerstände Wi und Wa unterscheiden, ja wir hätten statt W_1 und W_2 sogleich Wi und Wa in Rechnung ziehen können, indem wir einmal die Wärme-Entwicklung

im äusseren Stromkreis und dann im Elemente selbst gemessen hätten.

Wenn wir das Joule'sche Gesetz auf den ganzen Stromkreis beziehen wollen, so haben wir aus

$$Q\,i = W\,i\;J^2$$
$$Q\,a = W\,a\;J^2$$
$$Q = Q\,i + Q\,a = (W\,i + W\,a)\,J^2.$$

Nach dem Ohm'schen Gesetze ist

$$J = \frac{E}{W\,i + W\,a}.$$

Dieser Ausdruck in die obige Formel gesetzt, gestaltet diese, wie folgt, um:

$$Q = (W\,i + W\,a)\,J\,.\,J = (W\,i + W\,a)\,\frac{J\,.\,E}{(W\,i + W\,a)}$$

$$Q = J\,E \text{ oder auch } Q = E.\,\frac{E}{(W\,i + W\,a)} = \frac{E^2}{W\,i + W\,a}$$

Wir haben nun in unsere Formel das E, die elektromotorische Kraft, hineingebracht, was im Widerspruch zu stehen scheint mit unserer vorigen Behauptung, die Wärme-Entwicklung sei von der elektromotorischen Kraft unabhängig. Wir dürfen aber nicht vergesssen, dass wir an jener Stelle nur von einem Stücke der Leitung gesprochen haben, hier aber die Sprache vom gesammten Stromkreis ist.

Wir haben uns die Sache für beide Fälle so vorzustellen, als ob ein Wasserrad durch zwei verschiedene Schleusen betrieben werden könnte, deren eine Wasser, welches eine grössere Geschwindigkeit besitzt, Zutritt gestatten würde. Wir können dennoch beide Schleusen so reguliren, dass die Wasserstrahlen beider dem Rade die gleiche Kraft verleihen, sind durch die Schleuse also

unabhängig vom Gefälle, ja wir können dieses Beispiel geradezu auf unseren Fall anwenden; wir hindern eben durch Einschalten des Widerstandes die elektromotorische Kraft, eine grössere Elektricitätsmenge durch unser Leiterstück hindurch zu treiben, und machen uns dadurch von ersterer unabhängig.

Es tritt nun an uns die Frage heran: Welchen Widerstand müssen wir dem äusseren Stromkreis geben, damit wir möglichst viel Wärme und unter den günstigsten Verhältnissen erhalten.

Wir haben $Qa = Wa J^2$ oder

$$= \frac{Wa E^2}{(Wi + Wa)^2}$$

und fragen nun, wann wird Qa ein Maximum.

Da wir das E nicht beeinflussen können, so bleibt blos $\frac{Wa}{(Wi + Wa)^2}$ in Betracht zu ziehen.

Setzen wir diesen Ausdruck $= \frac{1}{2x} = \frac{Wa}{(Wi + Wa)^2}$, so entspricht das Minimum von x einem Maximum des $\frac{Wa}{(Wi + Wa)^2}$; wir lösen auf und haben

$$2x\,Wa = (Wi + Wa)^2 = Wi^2 + 2\,Wi\,Wa + Wa^2$$

$$0 = Wi^2 + 2\,Wi\,Wa + Wa^2 - 2x\,Wa$$

$$Wa = x - Wi \pm \sqrt{(x - Wi)^2 - Wi^2}$$

$$= x - Wi \pm \sqrt{x^2 - 2x\,Wi}$$

$$= x - Wi \pm \sqrt{x\,(x - 2\,Wi)}$$

Aus dem letzten Ausdruck geht hervor, dass Wa imaginär wird, sobald x kleiner wird als $2\,Wi$, und dass sein kleinster Werth, nach dem wir ja fragen, $= 2\,Wi$ ist; setzen wir ihn ein, so haben wir

$$\frac{Wa}{(Wi+Wa)^2} = \frac{1}{4\,Wi}$$

$$4\,Wi\,Wa = Wi^2 + 2\,Wi\,Wa + Wa^2$$

$$0 = Wi^2 - 2\,Wi\,Wa + Wa^2$$

$$0 = (Wi - Wa)^2,$$

woraus hervorgeht, dass für ein Maximum $Wi = Wa$ sein muss, d. h. dass der äussere Widerstand gleich dem inneren sein soll.

In diesem Falle vertheilt sich die Wärmemenge gleichförmig auf den inneren und äusseren Stromkreis.

Glühen der Leiter.

Wie an anderer Stelle gesagt wurde, vergrössert sich der Widerstand eines metallischen Leiters, wenn eine Erwärmung desselben erfolgt.

So lange, wie bei den angeführten Versuchen, die Spiralen in Flüssigkeiten eingesenkt sind, kann die Temperaturerhöhung keine erhebliche werden. Lassen wir den Strom durch den Draht gehen, ohne ihn abzukühlen, so erwärmt er sich, dabei den Widerstand vergrössernd, sobald die Verhältnisse entsprechend sind, bis er ins Erglühen kommt oder der Verlust an Wärme der Zufuhr derselben durch den Strom die Wagschale hält.

Der Verlust V per Zeiteinheit ist jedenfalls proportional der Oberfläche O und dem Ausstrahlungsvermögen a, welches dem Stoffe eigenthümlich ist, und ferner dem Unterschiede proportional, der zwischen der Temperatur des Drahtes und jener der Umgebung herrscht.

$V = c\,.\,O\,.\,a\,t$, in welcher Formel c eine Constante bedeutet.

Das Temperatur-Maximum wird also erreicht werden,

wenn $V = Q = W J^2$ ist oder auch

$$O \,.\, a\, t = W J^2 \text{ und endlich}$$

$$t = \frac{W J^2}{O\, a}.$$

Nennen wir $L\, s$ das specifische Leitungsvermögen, so ist der Leitungswiderstand W gegeben durch:

$$W = \frac{4\ l}{d^2 \pi},$$

wenn d die Dicke und l die Länge bedeutet; weil nun

$$O = \pi d \,.\, l$$

$$t = \frac{\frac{4\ l}{d^2 \pi}}{c \pi d\, l\, a} J^2 = \frac{4\ L\, s\, J^2}{c\, a\, \pi^2 d^3} = C\, \frac{J^2}{a\, d^3},$$

wenn man

$$\frac{4\ L\, s}{c\, \pi^2} = C$$

setzt, woraus hervorgeht, dass die Temperatur proportional sei:

1. Dem specifischen Leitungswiderstande,
2. dem Quadrate der Stromstärke,
3. umgekehrt proportional dem Ausstrahlungs-Vermögen,
4. umgekehrt proportional dem Cubus der Drahtdicke,
5. unabhängig jedoch von der Länge des Drahtes unter der Annahme, dass die Stromstärke nicht geändert werde.

Diese Sätze haben eine nicht zu unterschätzende Wichtigkeit, da man das Erglühen der Metalldrähte nicht nur in der Chirurgie zu den sogenannten galvanokausti-

chen Operationen benutzt, sondern auch in der Spreng-technik von demselben Anwendung macht.

Auch die elektrische Beleuchtung durch Glühlicht fusst auf der Erwärmung eines Theiles der Leitung durch den galvanischen Strom.

Die ersten Versuche wurden gleichfalls mit Metall-drähten angestelllt, dass sie misslungen sind, daran waren folgende Umstände schuld:

Das Maximum der Lichtentwicklung wird nämlich dann erreicht, wenn die Drähte in höchster Weissgluth sind, also sich dem Punkte nähern, bei welchem sie ihren Zusammenhang verlieren; aber nicht nur aus ökonomischen Gründen (Ausnutzung des gegebenen Stromes), sondern auch der Farbe des entwickelten Lichtes wegen, welches bei geringerer Gluth röthlich ist, muss der höchste Hitzegrad angestrebt werden. Die verschiedenen Erfinder und auch Edison suchten durch verschiedene Regulir-vorrichtungen zu verhindern, dass durch zufällige Strom-zunahme, weil etwa einzelne Lampen ausgeschaltet wurden, der Schmelzpunkt erreicht werde. So sinnreich diese Appa-rate, welche meist auf der Ausdehnung von Luft oder Metallstäben beruhen, auch sind, sie konnten das Ab-schmelzen auf die Dauer nicht verhindern, wahrschein-lich auch deshalb nicht, weil durch langandauernden Gebrauch der Charakter und dadurch die Leitungsfähig-keit der Metalle (Platin und Iridium) geändert, ja Theile derselben verflüchtigt werden.

Kohle, welche nicht der Gefahr ausgesetzt ist, zu schmelzen, erschien daher das demnächst anwendbare Material zu sein. Leider zeigte sich, dass diese Kohle auch verflüchtigt, sozusagen zerstiebt, wenn der Strom zu stark wird, besonders dann leicht, wenn die Kohle

sehr lockeres Gefüge hat. Durch umständliche Processe, die an anderer Stelle eingehend beschrieben sind, gelangte man dahin, Kohlenfäden zu erzeugen, die dem Ansehen nach kaum von Metalldrähten zu unterscheiden sind, und welche auch einen andauernden Gebrauch (in luftleerem oder sauerstofffreiem Raume) ertragen.

Ein anderer Umstand darf ferner nicht aus dem Auge gelassen werden, der bestimmend wirkt, wenn es sich darum handelt, einen Stoff zu finden, der zweckmässig geeignet sei, bei geringstem Stromaufwand die möglichst grösste Temperaturerhöhung zu erreichen, was von der specifischen Wärme des angewendeten Stoffes abhängt.

Um diesen Gegenstand klar zu legen, wollen wir annehmen, wir hätten zwei Spiralen von gleichen Widerständen, die eine sei aus Kupfer, die andere aus Platin. Wenn beide in demselben Stromkreis eingeschaltet sind, so müssen in beiden, wie wir wissen, gleiche Wärme-Erregungen entwickelt werden, und dennoch kann die Platinspirale ins Glühen gerathen, während der Kupferdraht nur eine mässige Erwärmung zeigt. Verschiedene Stoffe verbrauchen eben auch verschiedene Wärmemengen, damit ihre Temperatur um einen Grad erhöht werde.

Wir dürfen aber auch nicht vergessen, dass ein anderer Umstand dazu beiträgt, dass sich der Kupferdraht weniger erwärmt und das ist die bei seiner Länge bedeutend vermehrte Ausstrahlung der Wärme und die grössere Masse, welche erhitzt werden muss; es kann daher auf die gleiche Länge des Drahtes nur eine Wärmemenge entfallen, die proportional dem Leitungswiderstande der verglichenen Stoffe und, vorausgesetzt, dass beide

gleichen Durchmesser haben, proportional jenen Drahtlängen ist, welche gleichen Widerständen entsprechen. Kupferdraht, welcher ein sieben- bis elfmal grösseres Leitungsvermögen als Platin besitzt, wird also auch sieben bis elfmal länger sein müssen; auf diese ganze Länge kommt aber nur dieselbe Wärmemenge als auf den Platindraht, also auch auf die Längeneinheit nur der sovielte Theil.

Auch in dieser Beziehung stellt sich Kohle günstiger als Platin, da sowohl ihr Leitungsvermögen vielmal geringer, dieselbe also auch bei gleicher Dicke ebenso vielmal kürzer sein kann, also auf einen kleineren Raum eine grössere Wärmemenge zusammengedrängt, dabei aber auch das Ausstrahlungsvermögen vermindert wird, endlich bedarf aber auch die Masseneinheit der Kohle eine vielmal geringere Wärmemenge, um ihre Temperatur um einen Grad zu erhöhen, als Platin.

Freilich darf nicht vergessen werden, dass eine Verminderung des Ausstrahlungsvermögens, wenn es sich um Lichtentwicklung handelt, ungünstig wirkt, da man annehmen darf, dass beide ziemlich gleichen Schritt halten.

Diesem Uebelstande abzuhelfen, ist man in neuer Zeit daran geschritten, statt feiner Kohlenfäden feine Kohlenröhrchen anzuwenden, wodurch die Oberfläche bei derselben Masse vergrössert wird.

Volta-Bogen.

Trennt man einen Leiter, während ein kräftiger Strom denselben durchläuft, so kann man eine Lichterscheinung wahrnehmen, welche davon herrührt, dass

durch den Strom von den Enden des Leiters kleine Theilchen abgetrennt ins Glühen und zum Verdampfen gebracht werden.

Dieser Lichterscheinung wird meistens der Name elektrischer Funke beigelegt, sie kann aber je nach der Natur des Stromes und nach den Nebenumständen von einem Glühen der Gastheilchen, welche die Enden der Drähte umgeben, herrühren und dann auch von längerer Dauer sein. Je geringer der Druck ist, unter welchem die Gase stehen, desto grösser kann dann der Abstand der Drahtenden sein.

Vorläufig wollen wir näher auf jene Lichtentwicklung eingehen, welche vornehmlich von einem Losreissen und Erglühen der Leitertheilchen herrührt. H. Davy war der Erste, welcher diesem Gegenstand eine eingehende Untersuchung widmete, ja noch mehr, er war es, der diese Art der Stromleitung entdeckte.

Er verband mit den Enden der Poldrähte einer Säule, die 2000 Plattenpaare aus Zink und Kupfer zählte, zwei Holzkohlenstäbchen, zwischen welchen, nachdem er sie voneinander entfernte, ein Flammenbogen entstand, der eine Länge von 7 Cm. erreichte.

Nimmt man statt der Holzkohle Retortenkohle, so erreicht der Bogen keine solche Länge, was schon darauf hindeutet, dass dieselbe von dem Gefüge abhängt oder von der Leichtigkeit, mit welcher der Strom im Stande ist, kleine Theilchen abzulösen und zu verflüchtigen.

Ein Theil der Lichtentwicklung rührt davon her, dass der Sauerstoff der Luft die glühenden Theilchen verbrennt, jedoch entsteht auch der Flammenbogen im luftleeren Raume und kommt es dabei zu einer Ablagerung von Kohlentheilchen.

Nach eingehenden Versuchen findet das Ablösen hauptsächlich am positiven Polende statt, auch ist die Wärme-Entwicklung an demselben bedeutend stärker, wie schon der blosse Augenschein lehrt, wenn man die beiden Polenden betrachtet, sobald der Strom unterbrochen ist.

Dabei höhlt sich die positive Kohle kraterförmig aus, während die negative spitzig bleibt (vorausgesetzt, dass der Strom immer dieselbe Richtung beibehält), und geht die Hauptlichtentwicklung nicht von dem Bogen, sondern gerade von der kraterförmigen Höhlung aus.

Im luftleeren Raume nimmt nur die positive Kohle ab und die negative zeigt sogar ein Anwachsen — eine Erscheinung, die man auch bei sehr kurzen Lichtbogen beobachten kann.

Die Ursache der einseitigen Wärme-Entwicklung ist noch nicht ergründet. Wild sucht dieselbe thermo-elektrischen Vorgängen zuzuschreiben.

Vermindert man die Zahl der Elemente, so kommt man endlich zu einer Anzahl, unter welche man nicht heruntergehen kann, ohne dass der Lichtbogen sofort erlischt, auch wenn man denselbe noch so kurz zu machen bestrebt ist.

Die Ursache dieser Erscheinung liegt in dem Umstand, dass der Lichtbogen von dem Auftreten einer elektromotorischen Kraft begleitet ist, welche jener der Säule entgegenwirkt.

Versuche, welche Grove anstellte, schienen anzudeuten, dass zwischen der Polarisation im Voltameter oder galvanoplastischen Bädern und dieser Erscheinung eine grosse Aehnlichkeit bestehe; dahin abzielende Arbeiten Herwig's haben jedoch ergeben, dass die im Bogen ge-

leistete Arbeit, welche in dem Ueberführen eines Metalles im luftleeren Raume bestand, in gar keinem äquivalenten Zusammenhang mit der Wasserstoffentwicklung in dem Voltameter stehe, welcher in demselben Stromkreis eingeschaltet war.

Nun bliebe noch die Erklärung, dass durch die Verbrennung des Metalles oder Kohlenstoffes eine Elektricitäts-Entwicklung ebenso vor sich geht, wie eine solche in den galvanischen Elementen aus gleichen Ursachen stattfindet.

Versuche, welche A. Niaudet in dieser Richtung angestellt hat, widersprechen aber auch dieser Annahme. Er erzeugte den Lichtbogen zwischen Kohlen in einem vollständig abgesperrten Raume, dessen Sauerstoff natürlich bald durch Verbrennung der Kohle in Kohlensäure umgewandelt war, und dennoch betrug nach einiger Zeit die elektromotorische Kraft 54 Volts.

Es bliebe nur noch der Ausweg, die Ueberführung der Theilchen, das Losreissen derselben selbst als Ursache der elektromotorischen Kraft anzunehmen.

A. Niaudet kommt zu dem Schlusse: Die elektromotorische Gegenkraft des Bogens hat zwei Entstehungsursachen, welche im gleichen Sinne wirken; die eine ist eine mechanische, bestehend im Losreissen und in der Ueberführung der Theilchen, die andere eine thermo-elektrische.

Letztere naheliegende Ansicht hat auch schon Leroux ausgesprochen und trifft theilweise zusammen mit der Vermuthung Wild's, dass im Volta-Bogen thermo-elektrische Kräfte thätig seien, was ja, wenn man die bedeutenden Temperaturunterschiede zwischen beiden Kohlen berücksichtigt, sehr wahrscheinlich erscheint — nur sind

hier Ursache und Wirkung im entgegengesetzten Sinne gedeutet.

Eingehende Messungen über die Stärke der elektromotorischen Gegenkraft hat Edlund angestellt. Indem er $^1/_{80}$ Secunde nach Unterbrechung des Stromes von 26 Bunsen-Elementen den Bogen untersuchte, fand er, dass ein Strom geliefert wurde, der eine elektromotorische Kraft wie 9·8 Bunsen oder 16·8 Volts besitze, bei einer stärkeren Säule fand er die Gegenkraft sogar gleich 26 Volts.

Diese Art der Untersuchung ist aber gewiss nicht unanfechtbar; wenn auch, wie Leroux nachgewiesen hat, selbst nach $^2/_{10}$ Secunden noch eine elektromotorische Gegenkraft nachweisbar sei, nimmt dieselbe doch gewiss sehr rasch nach der Unterbrechung des Stromes ab.

Eine Nebenerscheinung, welche gleichfalls noch nicht erklärt ist, kann oftmals beobachtet werden, das ist das Zischen des Lichtbogens.

Niaudet beobachtete, dass dabei die Potentialdifferenz zwischen den Kohlen um 6 bis 10 Volts sinkt, wenn die Stromquelle eine elektromotorische Kraft von 110 Volts besitzt (Uppenborn, Zeitschr. f. angw. E., 1881).

Wirkung des Stromes auf einen flüssigen Leiter.

Wir können zweierlei Wirkungen unterscheiden, welche der Strom auf die Flüssigkeiten auszuüben im Stande ist.

Die eine ist eine mechanische und besteht in dem Ueberführen derselben von einem Pol zum anderen, welches

die elektrische Endosmose genannt wurde; die zweite ist eine chemische und unter dem Namen Elektrolyse bekannt, sie besteht in einer Zerlegung des Leiters.

Elektrische Endosmose.

Verschliessen wir eine U-förmig gekrümmte Röhre an der Stelle der Biegung durch einen porösen Thonpfropfen und füllen sodann beide Schenkel mit reinem Wasser gleich hoch an und führen dann zwei Elektroden in die beiden Schenkel ein, so werden wir, wenn wir den Strom von etwa 8 bis 10 Daniell-Elementen einleiten, trotzdem die Wasserzersetzung des grossen Widerstandes wegen sehr gering sein wird, bald ein Steigen der Flüssigkeit in jenem Theile bemerken, der mit dem negativen Pole der Säule verbunden ist.

Nach Wiedemann sind in folgenden zwei Punkten die wichtigsten Gesetze über diesen Gegenstand zusammengefasst:

1. Je grösser der Leitungswiderstand ist, desto grösser ist unter sonst gleichen Umständen die zum negativen Pol übergeführte Flüssigkeitsmenge.

2. Die nach dem negativen Pol geführte Flüssigkeitsmenge ist für eine und dieselbe Flüssigkeit bei gleichen Zeiten der Stromstärke proportional.

Elektrolyse.

Wir haben schon an anderer Stelle erfahren, dass der galvanische Strom im Stande ist, chemische Wirkungen auszuüben; dieser Fall tritt meistens ein, wenn eine wirkliche Stromleitung durch Flüssigkeiten (flüssige Metalle etwa ausgenommen) stattfindet.

Diese nach Faraday mit dem Namen Elektrolyse belegte Zersetzung giebt Anlass zur Bildung der Jonen, von welchen der am negativen Pole (Elektrode) abgeschiedene Theil Kation, der andere, der elektronegative Theil, Anion genannt wird.

Der Vorgang ist etwa so aufzufassen, dass die elektropositiven Bestandtheile der Flüssigkeit von der einen Elektrode, die elektronegativen von der anderen angezogen und auf diese Weise getrennt und an den Elektroden ausgeschieden werden.

Nach dieser Vorstellungsweise, welche von Grotthuss herstammt, ordnen sich alle Bestandtheile eines flüssigen Leiters unter dem Einflusse des Stromes so, dass eine Kette entsteht, welche mit dem elektronegativen Bestandtheil beginnt und mit dem elektropositiven endet. Die einzelnen Glieder der Kette ergänzen sich immer aus den Nachbarhälften der anliegenden, wenn an den Enden ein Bestandtheil abgeschieden wurde.

Diese Theorie setzt voraus, dass die Anziehung der Elektrode grösser sei, als die Anziehung der Molekülbestandtheile zueinander selbst, was eigentlich heissen würde, zur Trennung müsse wenigstens eine grössere Potentialdifferenz wirken als jene, welche die miteinander verbundenen Stoffe hervorrufen können, indem sie sich miteinander verbinden, d. h. unter einer gewissen Grenze könne überhaupt keine Zersetzung stattfinden.

Nun zeigt aber die Erfahrung, dass diese Voraussetzung gar nicht zutrifft und wir sind also gezwungen, uns nach einer anderen Erklärung der Vorgänge umzusehen.

Eine solche hat Clausius gegeben, welche seiner kinetischen Theorie der Aggregatszustände entspricht.

Nach derselben sind die Atome und Moleküle der Flüssigkeiten niemals fest aneinandergekettet, sondern in beständiger Trennung und Wiedervereinigung begriffen und dabei in fortwährend fortschreitender Bewegung, aber in der Art, dass dabei die einzelnen Bestandtheile gleichförmig vertheilt sind.

Auch hier ist die Annahme gemacht, dass der eine Bestandtheil elektropositiv, der andere elektronegativ sei. Beginnt die Einwirkung des Stromes, so wird die Bewegung des elektropositiven Theiles in der Richtung des positiven Stromes verstärkt, und das Gleiche geschieht im entgegengesetzten Sinne mit den entgegengesetzt elektrischen Bestandtheilen. Dadurch ändern sich die Geschwindigkeiten der Bestandtheile, die elektropositiven bewegen sich schneller im Sinne des positiven Stromes, die elektronegativen in jenem des negativen Stromes.

Dadurch sammeln sich die Bestandtheile an den entgegengesetzt elektrischen Elektroden an und finden

dort keine anderen mehr, welche sich mit ihnen vereinigen.

Es ist dabei nicht nöthig anzunehmen, dass nur positive Bestandtheile in der positiven, negative in der negativen Richtung gehen, oder dass die Geschwindigkeit derselben gleich sei, ja es ist sogar wahrscheinlich, dass der entgegengesetzte Fall der richtige ist, und wird die Stromstärke überhaupt nur die Summe in der Zeiteinheit durch einen Querschnitt gehender Theilchen bestimmen, wobei die negativen in der positiven Richtung gehenden als positiv gezählt werden müssen und umgekehrt.

Wie aus der ganzen Erklärung ersichtlich ist, verlangt dieselbe nicht, dass eine gewisse Potentialdifferenz vorhanden sei, damit überhaupt die Zersetzung beginnt, was ganz mit der Erfahrung übereinstimmt.

Diese Theorie erklärt aber auch zugleich, warum die Leitungsfähigkeit zunimmt, wenn die Flüssigkeiten gesättigter sind, weil dann eben die Zahl der Theilmoleküle in einem gegebenen Raume wächst, was auch der Zersetzung förderlich sein muss. Nimmt aber die Zahl der Moleküle zu, so kann es sich jedoch auch ereignen, dass sie einander in der Bewegung stören, wodurch sich erklärt, warum über eine gewisse Sättigung hinaus das Leitungsvermögen bei manchen Flüssigkeiten nicht mehr gesteigert wird, ja selbes sogar zuweilen abnimmt, und warum aber auch nicht immer die Leitungsfähigkeit proportional mit der Sättigung zunimmt, wie Kohlrausch nachgewiesen hat und aus einer seiner Tafeln, die wir anfügen, ersichtlich ist.

Die Entdeckung der Elektrolyse verdanken wir zwei englischen Physikern, Nicholson und Carlisle, welche

während ihrer Versuche mit einer Volta-Säule durch den eigenthümlichen Geruch, welcher der stete Begleiter einer Wasserstoffentwicklung ist und von Ozon (?) herrührt, auf den Gedanken kamen, den Strom selbst durch Wasser zu leiten.

Da der eine Poldraht aus Zink bestand, erhielten sie nur Wasserstoffgas, welches in Bläschen an dem negativen Poldraht aufsteigt.

Benutzt man als positiven Poldraht einen solchen aus Platin, so tritt auch hier eine Gasentwicklung auf, indem der Sauerstoff nicht mehr Gelegenheit hat, sich mit dem Metalle zu verbinden.

Eine etwas vollkommenere Zusammenstellung dieser Art, wie wir sie nachstehend beschreiben, trägt den Namen Wasserzersetz-Apparat, oder heisst auch aus Gründen, die wir sofort erläutern werden, Voltameter.

Aus unserer Erklärung der Vorgänge, welche bei der Leitung des Stromes durch Flüssigkeiten unter gleichzeitiger Zersetzung derselben stattfinden, ist leicht zu schliessen, dass diese Zersetzung selbst als Mass der Stromstärke dienen kann.

Schon Faraday hat im Jahre 1833 nachgewiesen, dass die in bestimmten Zeiträumen zersetzten Flüssigkeitsmengen oder, was dasselbe ist, die erhaltenen Raumtheile entwickelter Gase den Stromstärken proportional sind.

In dieser Richtung Messungen anstellen zu können, dienen die oben erwähnten Apparate, welche im Wesentlichen aus zwei Platinplatten bestehen, welche entweder in ein Gefäss eingesenkt sind, das oben verschlossen und mit einer Fortleitungsröhre versehen ist, oder unter zwei Glascylindern, von unten kommend, endigen.

Bei der letzteren Art der Apparate können die Gase getrennt aufgefangen werden, was aus verschiedenen Gründen oftmals wünschenswerth ist.

Es würde uns zu weit führen, hier anzugeben, welche Vorsichten bei derartigen Messungen zu beobachten und wie sie anzustellen sind; wir verweisen Jene, welche sich darüber eingehender belehren wollen, auf den X. Band der Elektro-technischen Bibliothek, welcher ausschliesslich diesem Gegenstande gewidmet ist.

Wir haben bis jetzt angenommen, wir hätten es nur mit Wasser zu thun; wir wollen aber nicht vergessen, ausdrücklich zu bemerken, dass wir keinen Augenblick an chemisch reines Wasser gedacht haben, von welchem F. Kohlrausch, der sich sehr eingehend mit diesem Gegenstand beschäftigte, nachgewiesen hat, dass seine Leitungsfähigkeit sich zu der des Quecksilbers verhalte wie $0{\cdot}72 : 10^{10}$ oder, dass sie gleich $\frac{0{\cdot}72}{10^{10}}$ sei. Dieses Leitungsvermögen,

das wohl kaum eine derartige Bezeichnung verdient, lässt wohl erklärlich erscheinen, dass auch jede Zersetzung ausgeschlossen ist.

Wie wir schon an anderer Stelle erwähnten, genügt jedoch der kleinste Salzgehalt, den Widerstand sehr wesentlich zu verringern, ja ein Zusatz von circa 1 Kubikcentimeter Schwefelsäure zu 10 Hektoliter (chemisch reinen) Wassers genügt, denselben auf den zehnten Theil zu verringern.

In der That benutzt man bei der Wasserzersetzung immer ziemlich stark 1 : 10 angesäuertes Wasser, schon deshalb, um durch zu grossen Widerstand nicht eine gar zu grosse Aenderung der Stromstärke herbeizuführen.

Ein zu grosser Schwefelsäurezusatz ist jedoch auch insoferne ungünstig, als er Anlass giebt zur Bildung von Ozon und Wasserstoffsuperoxyd — Stoffe, deren Bildung die Messungen fälschen, welche man bezüglich der Gase, die in den Apparaten entwickelt werden, anstellt.

Der chemische Vorgang bei der Zerlegung des Wassers, wenn Schwefelsäure gegenwärtig ist, dürfte der nachfolgend verzeichnete sein:

$$H_2 + SO_4 + H_2O$$
$$H_2 + SO_3 + O + H_2O$$
$$H_2 + SO_3 + OH_2 + O$$
$$H_2 + SO_4H_2 + O$$

Um das Jahr 1807 gelang es H. Davy, mit Hilfe eines Trog-Apparates von etwa 250 Platten nachzuweisen, dass auch die Alkalien und Erden, welche bis dahin für einfache Körper gehalten wurden, einer chemischen Zerlegung fähig seien und ausser Sauerstoff auch bis dahin unbekannte Metalle enthalten.

In der That gelingt die Wiederholung des Versuches mit Hilfe einer kräftigen Säule ziemlich leicht, wenn man zwischen die Pole, welche aus Platin bestehen, ein Stückchen Aetzkali legt, das eben nur etwas Wasser angezogen hat.

Unter der Einwirkung des Stromes geht eine oberflächliche Schmelzung und eine Entwicklung von Gasbläschen an dem positiven Pole vor sich, die aus Sauerstoff bestehen. Untersucht man den negativen Poldraht genauer, an dem sich Wasserstoffbläschen entwickeln, so gewahrt man auf demselben dem Quecksilber ähnliche Kügelchen, welche aus abgeschiedenem Kalium bestehen.

Es würde uns viel zu weit führen, wollten wir auf diesen Gegenstand weiter eingehen, erwähnen wollen wir nur noch, dass man zu derlei Zersetzungen auch die geschmolzenen Salze der Chlormetalle benutzt.

Wir wollen sofort die Zersetzung gelöster Salze besprechen — ein Gegenstand, von welchem in der Elektrotechnik der mannigfaltigste Gebrauch gemacht wird.

In sehr übersichtlicher Weise hat Dr. L. Pfaundler in seiner Bearbeitung des Lehrbuches der Physik von Müller die verschiedenen Arten, nach welchen die Zerlegungen der Salze und die darauffolgenden Neuzusammensetzungen der getrennten Stoffe mit den bereits vorhandenen vor sich gehen können, geordnet. Da wir diesen Gegenstand für sehr wichtig halten, wollen wir diese übersichtliche Zusammenstellung in möglichster Kürze vorbringen.

Die Salze lassen sich unterscheiden:

1. in solche, bei welchen die getrennten Stoffe keine weiteren Verbindungen eingehen, z. B. Chlorzink, Chlorblei, Platinchlorid;

2. in solche, bei welchen das **Anion** sich wieder verbindet:

Kation **Anion**

Kupfersulfat $Cu\,SO_4$ zw. Platinelektroden

Trennung durch den Strom

Cu SO_4

$$SO_4 + H_2O = H_2\,SO_4 + O$$

Zinnchlorür $Sn\,Cl_2$ in concentrirter Lösung

Sn Cl_2

$$Cl_2 + Sn\,Cl_2 = Sn\,Cl_4$$

Kation **Anion**

Silbernitrat conc. $AgNO_3$ Anoden aus Platin

Ag NO_3

$$NO_3 + AgNO_3 = N_2O_3 + AgO;$$

3. in solche, bei welchen sich das **Kation** wieder verbindet:

Kupferchlorid $Cu\ Cl_2$ Anoden aus Kohle

Cu Cl_2

$$Cu + CuCl_2 = Cu_2Cl_2;$$

4. in solche, bei welchen **Anion** und **Kation** wieder neue Verbindungen bilden:

Natriumsulfat Na_2SO_4 zwischen Platinelektrod.

Na_2 SO_4

$Na_2 + 2H_2O = 2NaHO + H_2$ $SO_4 + H_2O = H_2SO_4 + O$

Chlorzink $Zn\ Cl_2$

Katode, Chlorsilber $Ag\ Cl_1$ Anode, Zink

Zn Cl_2

$2\,Ag\ Cl + Zn = 2\,Ag + Zn\ Cl_2$ $Cl_2 + Zn = Zn\ Cl_2$;

5. das **Kation** zersetzt das Wasser, das **Anion** zerfällt in mehrere Verbindungen:

Essigsaures Kalium $KC_2H_3O_2$

K $C_2H_3O_2$

$K + H_2O = H + KHO,$ $C_2H_3O_2 = CH_3 + CO_2$

Methylgas.

Schon im Jahre 1833 hat Faraday erkannt, dass die durch denselben Strom zersetzten Mengen verschiedener Elektrolyte unter sich äquivalent seien oder, was

dasselbe sagt, dass die ausgeschiedenen Jonen einander äquivalent sind.

Der Nachweis dieses Gesetzes gelingt sehr leicht, da man hierzu nur nöthig hat, in denselben Stromkreis hintereinander verschiedene Zersetzungszellen einzuschalten.

Wartet man ab, bis in dem zugleich mit eingeschalteten Voltameter 11·17 Kubik-Cm. Wasserstoff entwickelt sind (eine Gasmenge, welche gerade 1 Milligramm wiegt), so erhält man für alle anderen Stoffe Zahlen, welche dem chemischen Aequivalent-Gewichte entsprechen.

Dieses Gesetz hat sowohl eine besondere Wichtigkeit für die Bestimmung von Stromstärken, als auch für die Berechnung der Metallmengen, welche ein bestimmter Strom in einer gegebenen Zeit fällen kann — eine Frage, die in der Elektrometallurgie eine grosse Rolle spielt.

Die Ausscheidung der Metalle aus ihren Salzlösungen hat nämlich in der Industrie eine grosse Anwendung gefunden, sowohl zur Gewinnung der Metalle, als auch unter Benutzung der Eigenschaft dieser Niederschläge, sich genau an die Elektrode anzulegen und dadurch dieselbe nachzubilden.

Auf diese Erscheinung hatte schon de la Rive 1836 aufmerksam gemacht, aber erst Jacobi und Spencer suchten dieselbe praktisch zu verwerthen; ihrem Bemühen gelang es auch, der Galvanoplastik, so nannte Jacobi das Verfahren, durch den Strom Kupfer niederzuschlagen, allgemeineren Eingang in die Industrie zu verschaffen.

Wir würden den Rahmen dieses Buches weit überschreiten, wollten wir auf diesen Gegenstand oder anderweitige Anwendung der Elektrolyse (Reinmetallgewinnung,

Färberei etc. etc.) näher eingehen, da für die Behandlung desselben ein eigener Band dieser Bibliothek gewidmet ist; und da wir uns nur mit dem theoretischen Theile zu beschäftigen haben; brechen wir hier ab.

Polarisation.

Wir kehren nun zu unserem Wasserzersetz-Apparat zurück und beobachten, was geschieht, wenn wir durch denselben einen sehr schwachen Strom senden.

In den meisten Fällen wird die Flüssigkeit den Strom zu leiten scheinen, ohne dass eine Zersetzung erfolgt, so dass es also den Anschein hat, als ob für schwache Ströme das Faraday'sche Gesetz nicht giltig wäre.

Dass aber doch eine Veränderung vor sich geht, wenn ein noch so schwacher Strom eingeleitet wird, das beweist der Polarisationsstrom, den man erhält und der einem selbst von Null aufsteigenden Strome bis zu einer gewissen Grenze stets proportional ist. Wie wir bereits erfahren haben, nimmt dieser seinen Ursprung aus der Berührung der Gase mit den Elektroden, nach der Contacttheorie, oder aus der Wiedervereinigung der Jonen nach der chemischen Theorie (Exner), also muss auch eine entsprechende Zersetzung erfolgen.

Dass die Zersetzung keine merkbare (bleibende) ist, rührt davon her, dass die Gase sofort in Lösung gehen und sich vereinigen.

Während ein Daniell-Element in vollkommen luftfreiem Wasser keine Stromleitung merken lässt, scheint eine solche einzutreten, sobald sich der abgeschiedene

Wasserstoff mit gelöstem Sauerstoff verbinden kann, weil dann der Polarisationsstrom nicht die Höhe des Zersetzungsstromes erreicht, dieser also nicht vollständig vernichtet wird. (Wir sehen ab von der Leitung durch Convection.) Uebersteigt der Zersetzungsstrom den Werth von 1·83 Volts, so tritt keine weitere Steigerung des Polarisationsstromes, dafür aber die sichtbare Wasserzersetzung ein; es ist dann das Maximum der Polarisation, 1·83 Volts, erreicht, das aber bei angesäuertem Wasser nur 1·5 Volts beträgt.

Die Verschiedenheit in den Maximalwerthen der Polarisation liegt in der bei stärkeren Strömen auftretenden Bildung von Wasserstoffsuperoxyd; übrigens trägt auch die Art der Elektroden viel dazu bei; überhaupt hängt die Grösse der Polarisation von der Beschaffenheit der angewandten Elektroden und, wie leicht begreiflich, von der Zusammensetzung der Flüssigkeit ab; sie ist z. B. gleich Null, wenn zwei amalgamirte Zinkplatten in einer Zinksulfatlösung benutzt werden.

Nicht immer werden blos Gase oder Metalle ausgeschieden, sondern es kommt zur Bildung fester Körper, die sich jedoch auch wieder chemisch verändern und dadurch einen Polarisationsstrom erzeugen. Von dieser Art Stromerregung wird bei den Accumulatoren Gebrauch gemacht. (Bildung von Bleisuperoxyd bei dem Planté-Elemente.) Zuweilen geht der abgeschiedene Sauerstoff sofort in eine Verbindung mit dem eingesenkten Metalle ein und schützt durch die Oxydschicht vor einem Angriff durch die Flüssigkeit, in welchem Falle man sagt, es befinde sich das Metall im passiven Zustande, der auch hervorgerufen werden kann, ohne dass wir das Metall mit dem positiven Pol einer Säule verbinden — Versuche,

die schon von Schönbein angestellt wurden und Anlass zur Zusammenstellung verschiedener Säulen gegeben haben, in welchen Platin durch Eisen vertreten ist.

Wanderung der Zersetzungsproducte (Jonen) zwischen den Elektroden.

Betrachten wir die in eine Kupfersulfatlösung eingesenkten Platin-Elektroden aufmerksam, während der Strom geschlossen ist, so bemerken wir, dass die Flüssigkeit um die negative Elektrode herum immer heller wird. Setzen wir daher die Elektroden in getrennte Gefässe, so können wir nachweisen, dass aus dem Gefässe mit der positiven Elektrode weniger Kupfer zur negativen, also in das andere Gefäss geführt wird, als der Strom dort Kupfer abscheidet.

Dies können wir, wie Hittorf es gethan hat, damit erklären, dass wir annehmen, es wandere das Kupfer langsamer zur negativen Elektrode als das SO_3 mit O zur positiven.

Auf diese Weise werden in dem einen Gefässe mehr positive, in dem anderen mehr negativ-elektrische Stoffe aufgespeichert.

Hittorf und F. Kohlrausch haben über diesen Gegenstand eingehende Untersuchungen angestellt, auf die wir aber leider nicht eingehen können.

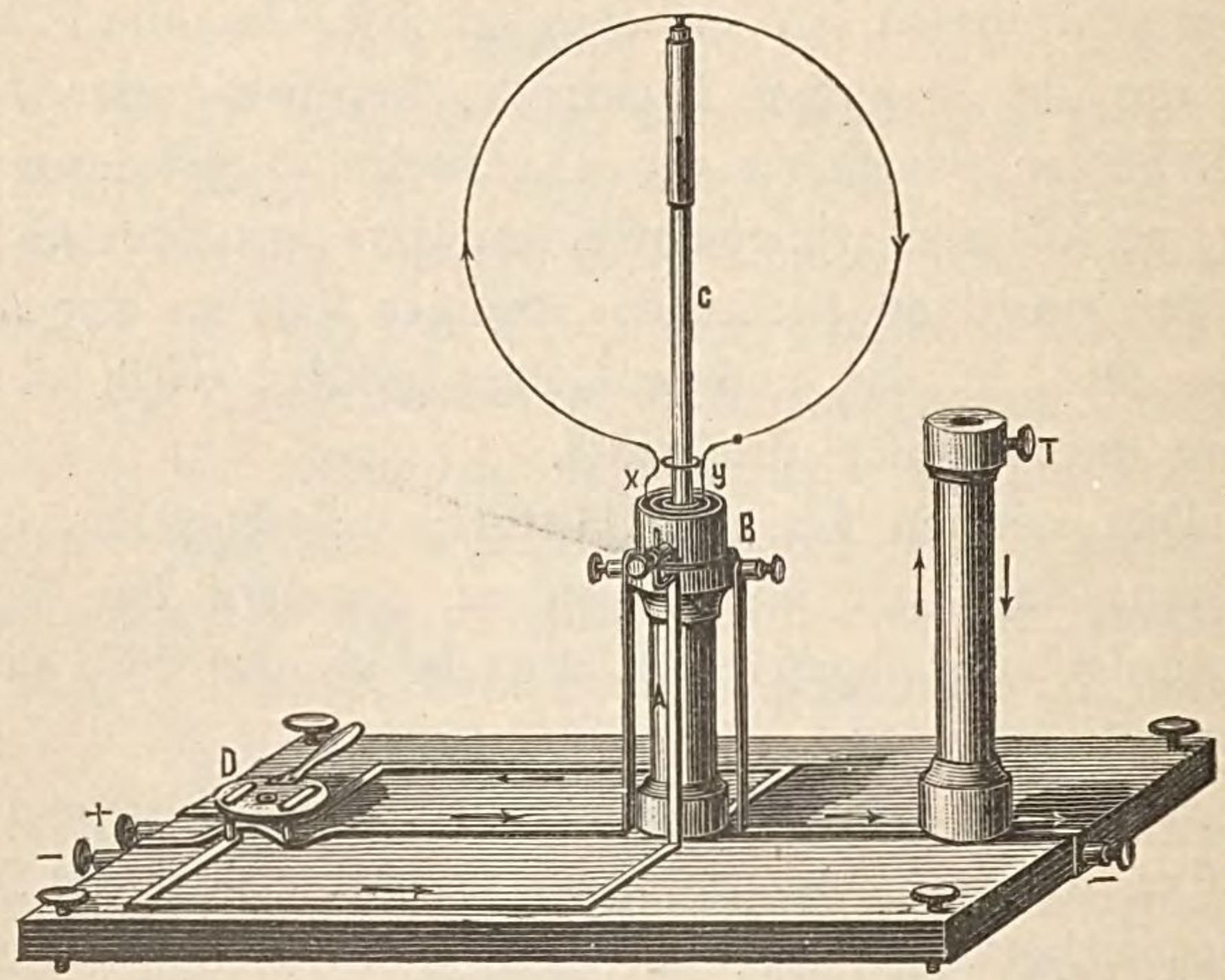
Wirkungen stromdurchflossener Leiter in die Ferne.

Verhalten eines beweglichen Leiters, der von einem galvanischen Strome durchflossen ist.

Wirkungen zweier Leiter aufeinander, auf Eisen- und Stahlstäbe.

Wird eine Drahtschlinge, welche von einem kräftigen Strome durchströmt ist, beweglich so aufgehängt, dass

Fig. 20

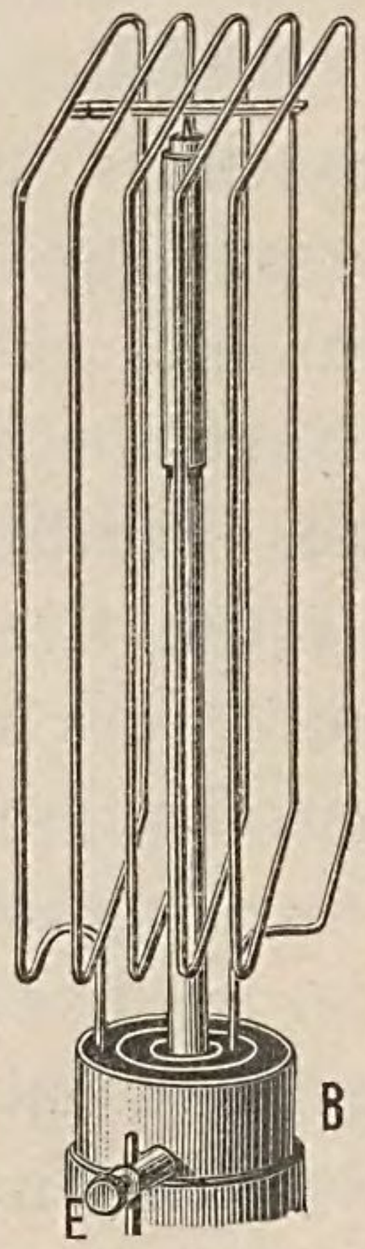


die Enden in zwei Rinnen mit Quecksilber tauchen, welchen der Strom zugeführt wird, wie etwa in Fig. 20 angegeben ist, so verhält sich dieselbe wie eine Magnetnadel. Sie stellt sich nämlich in eine bestimmte Richtung ein, in welche sie wieder nach einigen Schwingungen zurückkehrt, wenn sie in eine andere Lage gebracht wurde, und zwar steht die Ebene der Schlinge dabei senkrecht auf jener, die wir uns durch den magnetischen Meridian gelegt denken können.

Benutzt man statt einer Schlinge mehrere hintereinander geschaltete, wodurch eine Spirale entsteht, wie Fig. 21 zeigt, so nimmt die Kraft zu, mit welcher sie in die alte Lage zurückkehrt.

Wird in die Spirale ein Messingstab eingelegt, so verändert sich weiter nichts, als dass die Dauer, während welcher das System schwingt, sich verringert, da dasselbe schwerer geworden ist.

Fig. 21.



Wird aber ein Eisenstab eingeführt, so werden die Schwingungen, trotzdem auch jetzt das Gewicht vermehrt wird, kräftigere.

Nimmt man endlich einen Stahlstab, so stellt sich das System auch dann, wenn der Strom unterbrochen ist, in jene Richtung ein, nach welcher die Spirale während des Stromdurchganges immer zurückkehrte, und zwar nach Nord und Süd, gerade so wie dies bei einer Magnetnadel der Fall ist.

Nähern wir dem Stahlstäbchen Eisenfeilspäne, so werden diese angezogen und festgehalten. Der Stahlstab ist also magnetisch geworden.

Aus den bisher angeführten Versuchen können wir somit zwei Schlüsse ziehen:

1. Ein Leiter, der von einem elektrischen Strome durchflossen wird, erhält die Eigenschaften, welche wir an Magneten kennen.

2. Ein stromdurchflossener Leiter kann einem Stahlstab magnetische Eigenschaften verleihen.

Aber auch der Eisenstab muss magnetische Eigenschaften erlangt haben, da ja seine Gegenwart jene der

Spirale verstärkte; es ist nur der Unterschied vorhanden, dass sich diese Eigenschaft blos auf die Dauer des Stromdurchganges beschränkt.

Einen derartig magnetisch gemachten Eisenstab nennt man einen Elektromagnet.

Wir können den Versuch auch weiter so fortsetzen, dass wir die Schlinge, in welcher der Eisenstab liegt, öffnen, und dennoch wird derselbe magnetisch bleiben, selbst dann, wenn der Leiter ganz gerade gestreckt ist.

Stellen wir uns in die Richtung der Ruhe des Systemes, und zwar vor jenen Pol, der nach Norden zeigt (den Nordpol) und verfolgen die Richtung des Stromes in der Drahtschlinge, so werden wir finden, dass dieselbe jener Bewegung, welche die Uhrzeiger beschreiben, entgegengesetzt ist; der positive Strom fliesst also, von der rechten Hand des Beschauers nach aufwärts über den Eisenstab gehend, zur linken Hand.

Begeben wir uns zum Südpol, so finden wir, dass der positive Strom in der Richtung der Uhrzeigerbewegung geht, d. h. von der linken Hand aufwärts über den Eisenstab zur rechten Hand hinüber.

Stellen wir uns endlich so, dass wir den Nordpol rechts, den Südpol links haben, so finden wir, dass der positive Strom uns ober dem Eisenstab entgegen-, dann abwärts und von uns wegfliesst.

Wie schon gesagt, wird auch der Stab magnetisch, wenn statt der Schlinge blos ein gerades Leiterstück seine Richtung kreuzt. Kommt dann der positive Strom von unten gegen den Beschauer zu, so wird der Stab seinen Nordpol links haben, kommt er von oben, so wird der Nordpol rechts entstehen.

Steigt der positive Strom von unten zwischen dem Eisenstab und dem Beschauer auf, so wird der Nordpol ebenfalls links entstehen, kommt er von oben und geht zwischen dem Eisenstab und dem Beschauer nach abwärts, dann wird der Nordpol rechts entstehen; wenn endlich der Strom hinter dem Stab nach aufwärts geht, dann wird der Nordpol rechts liegen, steigt er nach abwärts, so wird ein Südpol an dessen Stelle entstehen.

Wir haben uns bei diesem Gegenstand etwas länger aufgehalten, weil er sehr wichtig und völlige Klarheit wünschenswerth ist.

Wir wollen nun mit unserer Drahtschlinge einen weiteren Versuch anstellen.

Da wir bereits wissen, dass der Erdmagnetismus eine richtende Kraft auf dieselbe ausübt, wollen wir ihr das Stahlstäbchen nähern, welches in der Spirale magnetisch geworden ist; wir werden sofort erfahren, dass, je nachdem wir dem Süd- oder Nordpol nähern, eine Anziehung oder Abstossung ausgeübt wird, wodurch eine Drehung erfolgt.

Benutzen wir wieder das Solenoid, so werden die Wirkungen kräftigere und wir können beobachten, dass jenes Ende, welches früher den Nordpol im Eisenstäbchen erzeugte, von dem Nordpol des Magnetstabes abgestossen, von dessen Südpol aber angezogen wird.

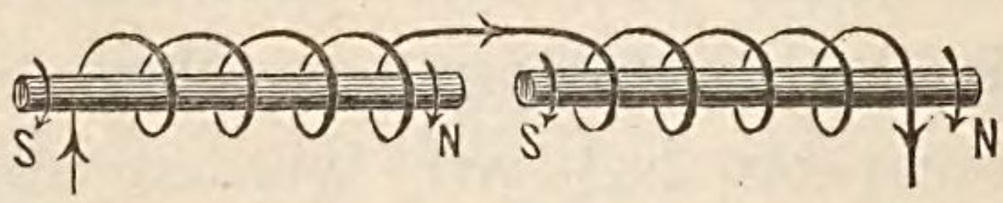
Nachdem wir gesehen haben, dass sich ein Draht, in welchem ein elektrischer Strom kreist, ähnlich verhält wie ein Magnet, liegt nahe, zu untersuchen, wie sich zwei dergleichen Leiter zueinander verhalten.

Denken wir uns zwei Eisenstäbchen in zwei Spiralen hintereinander eingelegt geführt, so wird in den uns zugewendeten Enden ein Südpol entstehen, wenn der

positive Strom in beiden Spiralen links nach aufwärts geht. In Folge dessen wird der Nordpol des weiter entfernt liegenden Eisenstäbchens zunächst dem Nordpol des uns näher befindlichen liegen und es wird eine Anziehung der Stäbchen erfolgen (Fig. 22).

Entfernen wir dieselben, so dass nur die Leiter übrig bleiben, so ist kein Grund vorhanden, der anzunehmen gestatten würde, dass sich die Leiter anders verhalten könnten, und in der That, auch die betreffenden Leiterstücke ziehen sich, wie wir uns leicht überzeugen können, an. Wir können daher sagen, zwei Leiter, welche von Strömen in gleicher Richtung durchflossen werden, ziehen sich an oder, kürzer, parallele Ströme ziehen sich

Fig. 22.



an. Aus denselben Gründen können wir folgern, dass sich entgegengesetzt gerichtete Ströme abstossen, was in der That der Fall ist.

Ampère, der sich zuerst mit der Erforschung der Gesetze, nach welchen diese Einwirkungen erfolgen, beschäftigte, fand, dass die Stärke derselben von dem Abstand der Leiter, der Länge derselben, insoferne die parallel liegenden Theile in Betracht kommen, und von der Stärke des Stromes abhängig ist.

Selbstverständlich wird jede Einwirkung aufgehoben, wenn der Rückführungsdraht nahe dem Drahte liegt, mit welchem der Versuch angestellt wird, da ja dann gleichzeitig, wenn beide Strecken gleiche Länge haben, sich Anziehung und Abstossung das Gleichgewicht halten.

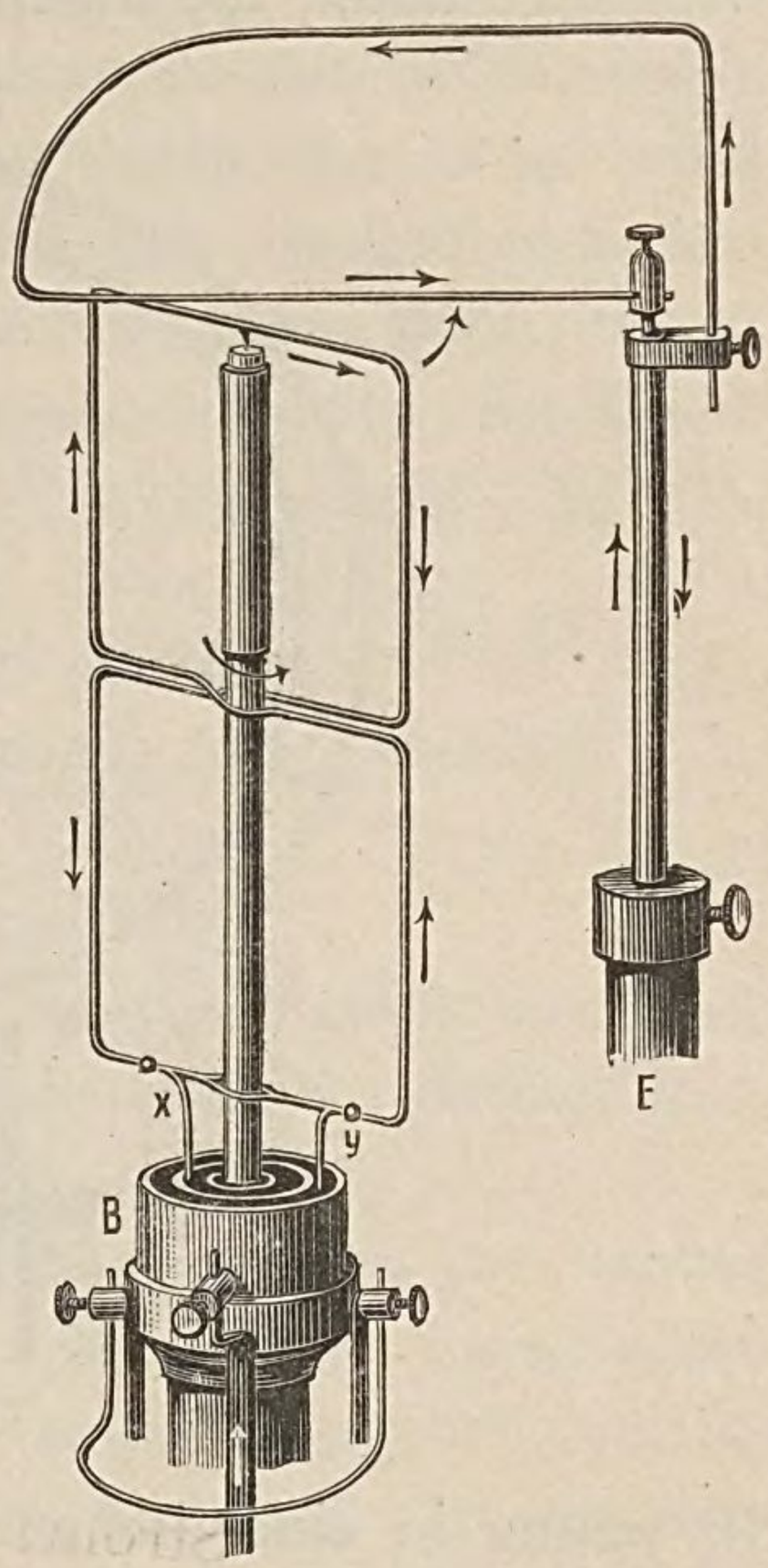
Wir haben bisher angenommen, dass sich beide Drähte zueinander parallel in derselben Ebene befinden. Ist dies nicht der Fall, findet also eine Kreuzung statt, so suchen sich die Leiter parallel zu stellen, und zwar geht das Bestreben dahin, die Drehung so zu vollführen, dass, wenn sie stattfände, die Ströme in gleichem Sinne kreisen würden.

Es findet dabei zwischen jenen Theilen des Stromes eine Anziehung statt, welche gegen den Kreuzungspunkt gerichtet sind, und zwischen solchen, in welchen der Strom von der Kreuzungsstelle wegfliesst. Abstossung erfolgt in den entgegengesetzten Fällen, also zwischen Theilen, in welchen der Strom von und zu der Kreuzungsstelle geht.

Auch dieser Versuch lässt sich mit dem in Fig. 23 vorgeführten Apparate leicht bewerkstelligen.

Auf einer Spitze ruht ein sogenanntes astatisches Gehänge,[1]) d. h. ein nach der Form der 8 gebogener Draht, der den Strom aus zwei Quecksilberrinnen empfängt,

Fig. 23.

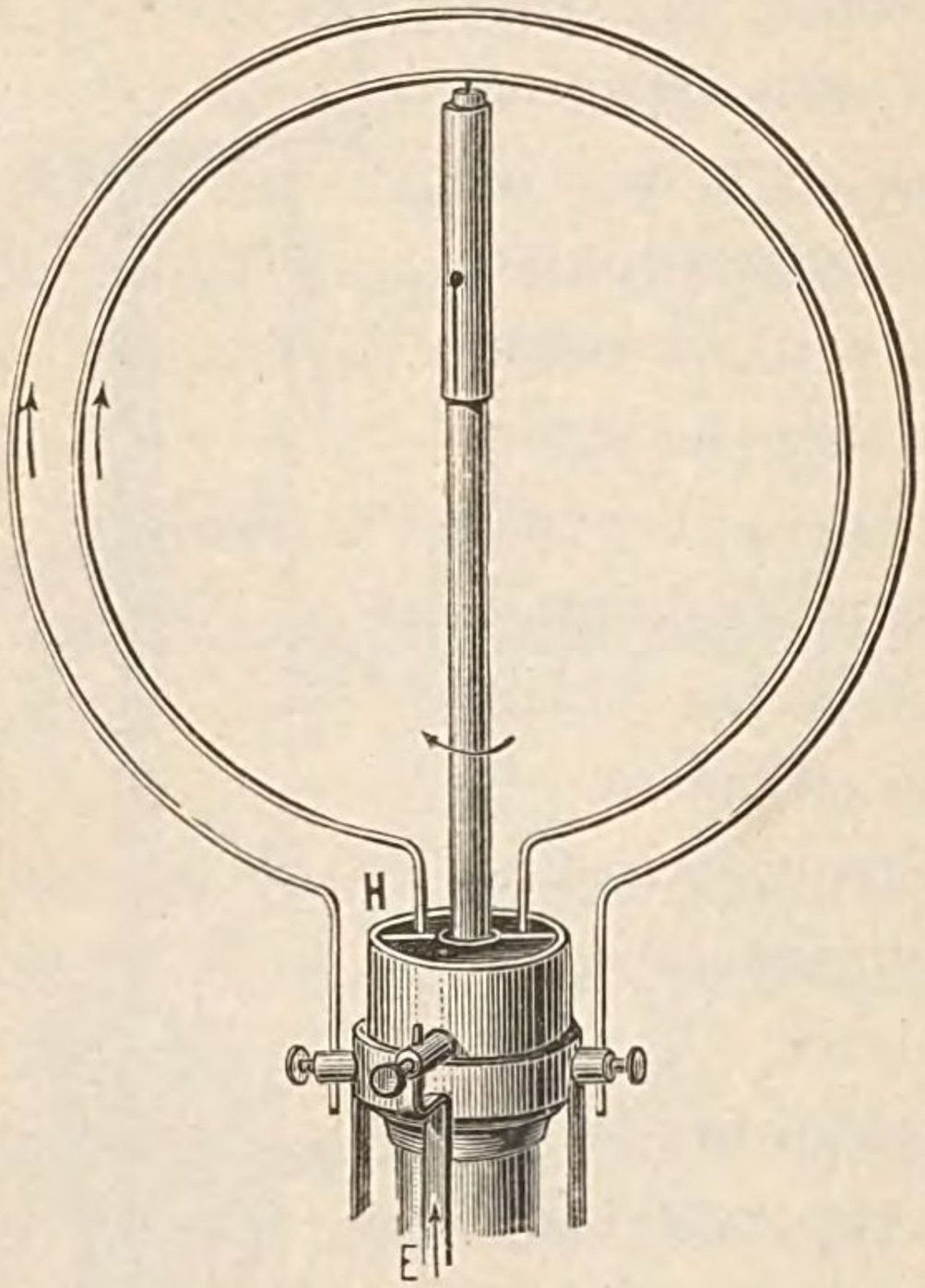


[1]) Die Verbindung zwischen *x* und *y* ist keine metallische. Der Träger *E* links erhält den Strom, wie aus Fig. 20 ersichtlich ist; der obere Theil besteht aus einem Rohr, in das ein Stab isolirt eingeschoben ist, Stromleitung erfolgt durch Säule *E*.

und in welchen er so kreist, dass sich die Wirkungen aufheben, weil die Ströme entgegengesetzt fliessen. Nähert man nun einen stromdurchflossenen Draht, so übt dieser eine Einwirkung auf die einzelnen Theile aus, weil jene, welche entgegengesetzt wirken könnten, zu entfernt liegen.

Die Abbildung (Fig. 24) zeigt eine Vorrichtung, welche gestattet, die durch die Anziehung hervorgebrachte

Fig. 24.



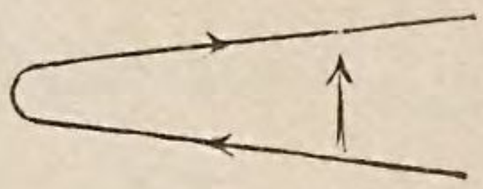
Bewegung in eine drehende zu verwandeln; wenn nämlich die Drähte sich parallel gestellt haben, tritt eine Stromunterbrechung und ein Wechsel der Stromrichtung ein, der die Anziehung in eine Abstossung verwandelt, in Folge deren der Leiter eine weitere Bewegung macht.

Es ist jedoch nicht nöthig, dass der Versuch mit zwei Leitern angestellt werde; an einer einfachen Spirale, deren Windungen nahe genug liegen, kann gezeigt werden,

dass sich dieselben anziehen. Hierauf beruht der Versuch, durch eine Spirale, welche in Quecksilber taucht, einen Strom zu führen, der sich selbst unterbricht, da das Spiralende aus dem Quecksilber heraustritt, wenn sich die einzelnen Windungen, da gleichgerichtete Ströme sie durchfliessen, anziehen.

Ist ein Draht gebogen, so tritt in Folge der Abstossung, weil ja die Ströme entgegengesetzt laufen, sogar das Bestreben ein, den Draht zu biegen, und es ist wohl kaum fraglich, dass dadurch nicht mit der Zeit sogar ein Einfluss auf die Structur des Leiters geübt wird, die zu einem Bruch führen kann, ja es genügt, dass ein Draht blos abgebogen ist, damit diese Wirkung eintritt (Fig. 25). Denken wir uns diesen Draht immer mehr und mehr aufgebogen, so bleibt doch die Abstossung noch bestehen, so dass wir selbst bei geraden Drähten annehmen können, es finde zwischen den einzelnen Theilen des Stromes eine Abstossung statt (Fig. 26), wie auch aus der nachstehenden Betrachtung hervorgeht.

Fig. 25.



Wir haben schon erwähnt, dass Ampère das Gesetz ergründet hat, nach welchem zwei Ströme aufeinander wirken; er hat aber auch eine Formel angegeben, welche gestattet, die Einwirkung zweier Stromtheilchen, die sich in irgend einer Lage zueinander befinden, zu berechnen.

Bedeutet K die Kraft, mit welcher zwei Strom-Elemente aufeinander in der Richtung jener Geraden wirken, welche ihre Mittel verbindet (Fig. 27), L die Länge derselben (der Geraden), J die Stromstärke in dem einen, J_1 jene in dem anderen Stromelemente, l die Länge des einen und l_1 die des anderen Stromelementes,

und wenn wir den Winkel, welchen beide miteinander einschliessen, a, b den Winkel des einen, mit der Verbindungslinie b_1 den des anderen nennen, so lautet die Formel:

$$K = \frac{J J_1}{L^2} \frac{3\ 12}{(s \cos a} - \frac{3}{2} \cos b \cos b_1)\ l l_1.$$

Wächst a bis 180 Grad, so wird, weil $\cos a = -1$, das K einen negativen Werth erhalten, was stimmt, da

Fig. 26.

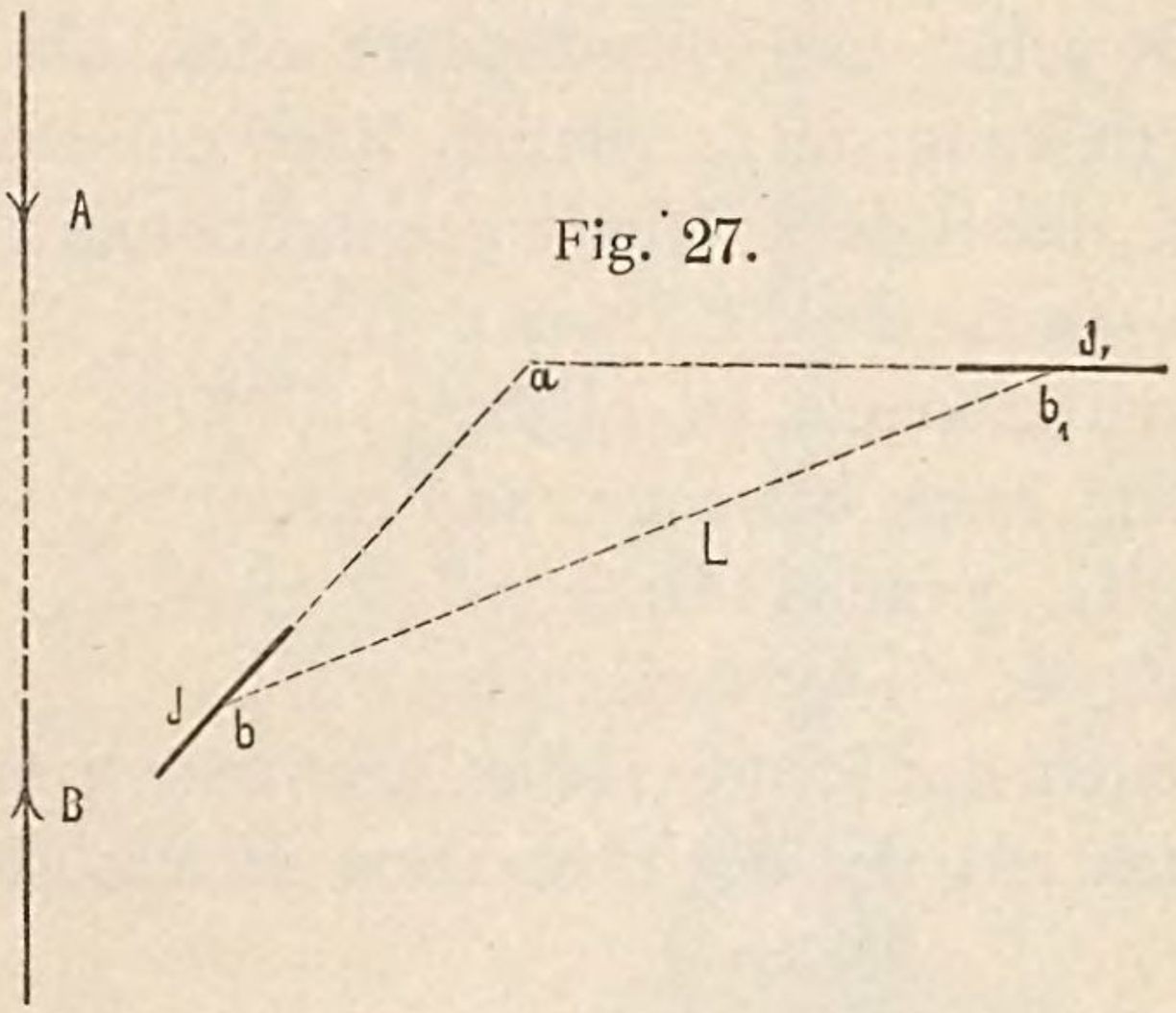
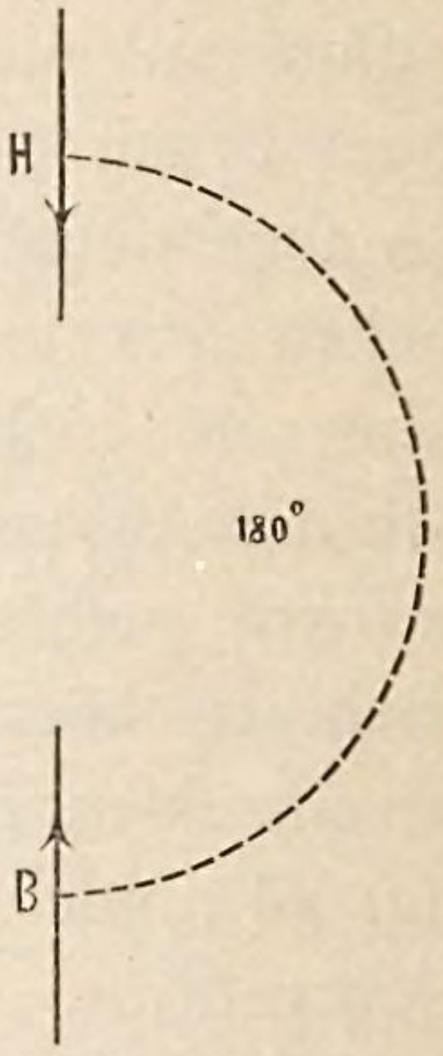


Fig. 27.

Fig. 28.



wir ja dann parallele Ströme in entgegengesetzter Richtung haben (Fig. 28).

Ist $a = o$ und $b = b_1 = o$, d. h. liegen beide Stromelemente in derselben Geraden und schliessen mit ihrer Verbindungslinie keinen Winkel ein, laufen in einer Richtung, dann erhalten wir

$$K = -\frac{J J_1}{^2L^2}\ l l_1.$$

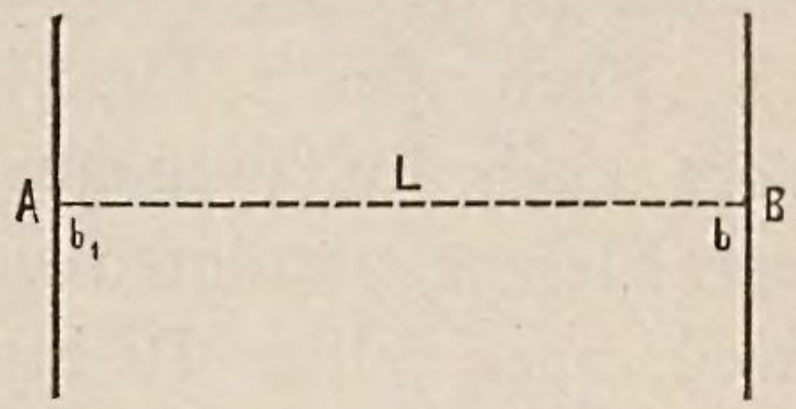
Wenn endlich $a = o$ und b, sowie $b_1 = 90$ Grad ist, so laufen die Ströme parallel (Fig. 29); wir erhalten dann

$$K = \frac{J J_1}{L^2} l l_1.$$

Es findet also, wie auch der Versuch ergeben hat, eine Anziehung statt.

Weber's Untersuchungen, die mit Drahtrollen angestellt wurden, deren eine an ihren Zuleitungsdrähten so aufgehängt war, dass ihre Axe durch den Magnet-Meridian ging, welcher Vorrichtung er den Namen Bifilar-Dynamometer beilegte, während die zweite Drahtrolle in verschiedenen Entfernungen von der beweglichen aufgestellt werden, ja selbst in diese hineingeschoben werden konnte, ergaben, dass, sobald durch zwei Leiter Ströme von gleicher Intensität fliessen, die elektrodynamische Kraft, mit welcher sie aufeinander wirken, dem Quadrate der Stromstärke proportional ist; es ergab sich überhaupt, dass für derlei Drahtrollen in Bezug auf ihre elektrodynamische Wirkung in die Ferne dieselben Gesetze Giltigkeit haben, welche für die Wirkung zweier Magnete bekannt sind.

Fig. 29.



Man kann sich auch, wie wir schon einmal gethan haben, um sich die Vorstellung zu erleichtern, welche man sich über die Wirkung zweier Stromelemente macht, diese durch kleine Magnete ersetzt denken, die senkrecht auf der Richtung fraglicher Stromelemente stehen.

Nach den Regeln, welche wir zur Bestimmung der Lage des Süd- und Nordpoles gegeben haben, ist es gewiss immer leicht, sich vorzustellen, welche Pole der betreffenden Stäbchen sich dann am nächsten stehen, also aufeinander einwirken.

Im umgekehrten Sinne kann man sich aber jeden Magnet wieder als einen Elektromagnet vorstellen, der aus unendlich kleinen Stäbchen besteht, die jedes von elektrischen Strömen umkreist sind, deren Bahn in einer Ebene senkrecht zur Längenausdehnung des Stäbchens liegt.

Diese Ströme um die kleinsten Theilchen (Molekularströme) kann man sich aber auch ersetzt denken durch einen einzigen Strom, der das ganze System der Elementarstäbchen umkreist, natürlich parallel zur Richtung der Molekularströme. Wir kehren damit gewissermassen wieder zu unserer Drahtspirale zurück, in welche wir das Eisenstäbchen gelegt hatten, und es gelten auch hier dieselben Gesetze über die Lage der Pole.

Nach dieser Theorie hätten wir uns vorzustellen, dass auch im unmagnetischen Zustande die Moleküle von Elementarströmen umkreist werden, dass aber diese, weil nach allen Richtungen gehend, keine Wirkung äussern, so lange sie nicht durch eine Kraft von aussen parallel gerichtet werden. Die Fähigkeit, dies zu bewerkstelligen, kommt vor Allem den galvanischen Strömen, dann magnetischen Körpern zu; es genügen jedoch auch mechanische Einwirkungen.

Das Maximum der Magnetisirung ist natürlich erreicht, wenn alle Strömchen parallel gerichtet sind.

Während bei dem Eisen die Theilchen bald nachdem die äussere Einwirkung aufhört, in ihre ursprüngliche Lage zurückkehren, besitzt der Stahl die Eigenthümlichkeit, in Folge der ihm innewohnenden Coërcitivkraft die Theilchen daran hindern zu können, dass sie in ihre ursprüngliche Lage sich zurückdrehen, und zwar ist diese Coërcitivkraft je nach der Härte und Gattung

des Stahles verschieden gross, d. h. übt ihre Einwirkung mehr oder minder kräftig auf alle Theilchen oder nur auf eine bestimmte Anzahl derselben aus, wodurch es kommt, dass der bleibende oder permanente Magnetismus solcher Stäbe ein sehr verschiedener sein kann.

Es wäre vielleicht hier der geeignete Platz, näher auf die Magnete und Elektromagnete einzugehen, wir thun dies jedoch erst später, um im Zusammenhang noch einige Beziehungen zwischen stromdurchflossenen Leitern zu Magneten zu besprechen.

Fig. 30.

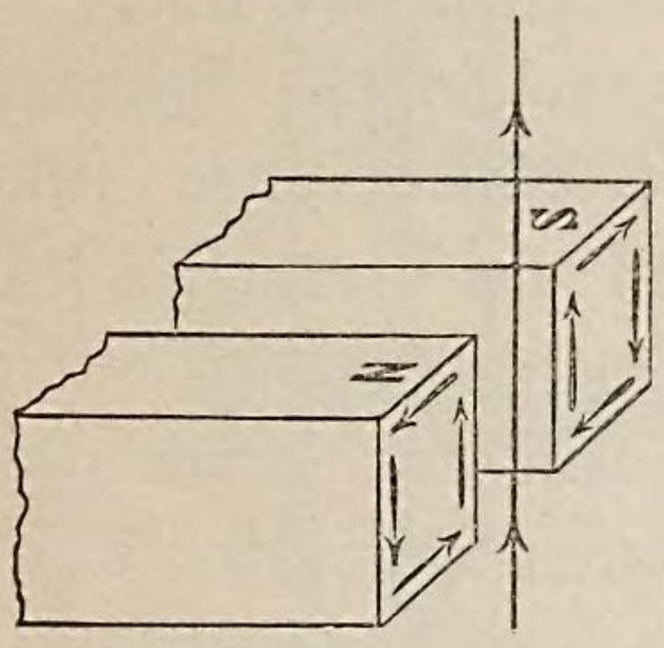
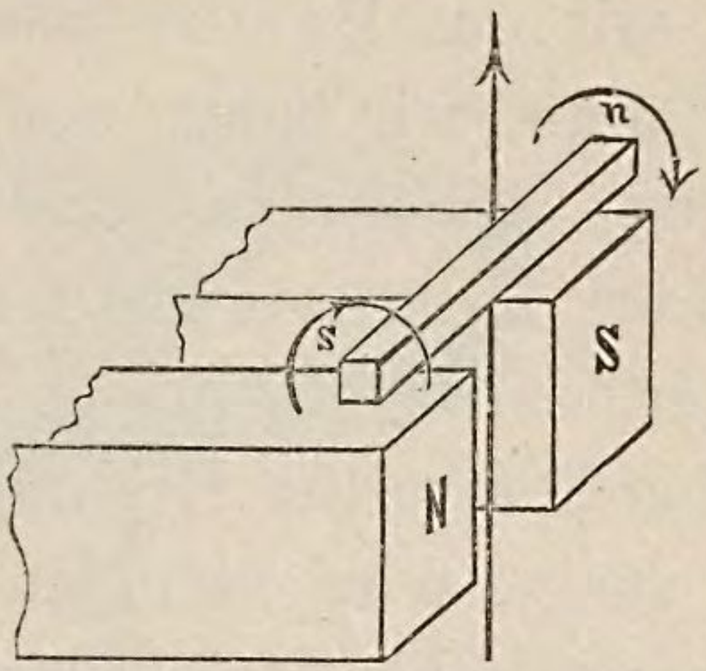


Fig. 31.



Mit Hilfe der Ampère'schen Theorie von den Molekularströmen ist es leicht, sich eine Vorstellung davon zu machen, was geschieht, wenn ein Draht, den ein Strom durchfliesst, sich in der Nähe eines Magnets befindet.

Denken wir uns einen Draht, in welchem der Strom von unten nach oben fliesst, zwischen die Schenkel eines Magnets gebracht, dessen Pole, wie in der Fig. 30 angegeben, liegen, so laufen die Ströme in gleicher Richtung: sie ziehen sich also an; nicht so deutlich wird die Sache für die Vorstellung, wenn wir uns den Draht durch ein Magnetstäbchen ersetzt denken, da uns dann zu viel Wahl gelassen ist in Bezug darauf, ob wir uns dieses

vor oder hinter dem Draht und in welcher Lage gegen den Magnet zu denken haben, worauf es, wie leicht erklärlich und auch aus der Fig. 31 ersichtlich, sehr genau ankommt.

Denken wir uns, wir hätten statt diesem einzelnen Drahte ein sternförmiges System von solchen, welches sich um eine wagrechte Axe sehr leicht dreht, so kann eine andauernde Bewegung erzielt werden, da immer neue Drähte in das Quecksilber eingetaucht werden, durch welches den unteren Enden der Strom zugeführt wird. Verwenden wir ein mit Spitzen versehenes Rädchen, so haben wir das Barlow'sche Rädchen vor uns.

Hätten wir statt dem aufgehängten Stäbchen ein U-förmig gebogenes, das auf einer Spitze ruht, angewendet, so würde der Verlauf des Versuches folgender gewesen sein:

Der lothrechte Draht, in dem der Strom nach aufwärts steigt, wird von den Magnet-Südpolen, in welchen die Ampère'schen Molekularströme gleiche Richtung haben, angezogen (Fig. 32), gleichzeitig aber der zweite Schenkel abgestossen, was eine Drehung im Sinne des Pfeiles zur Folge haben muss.

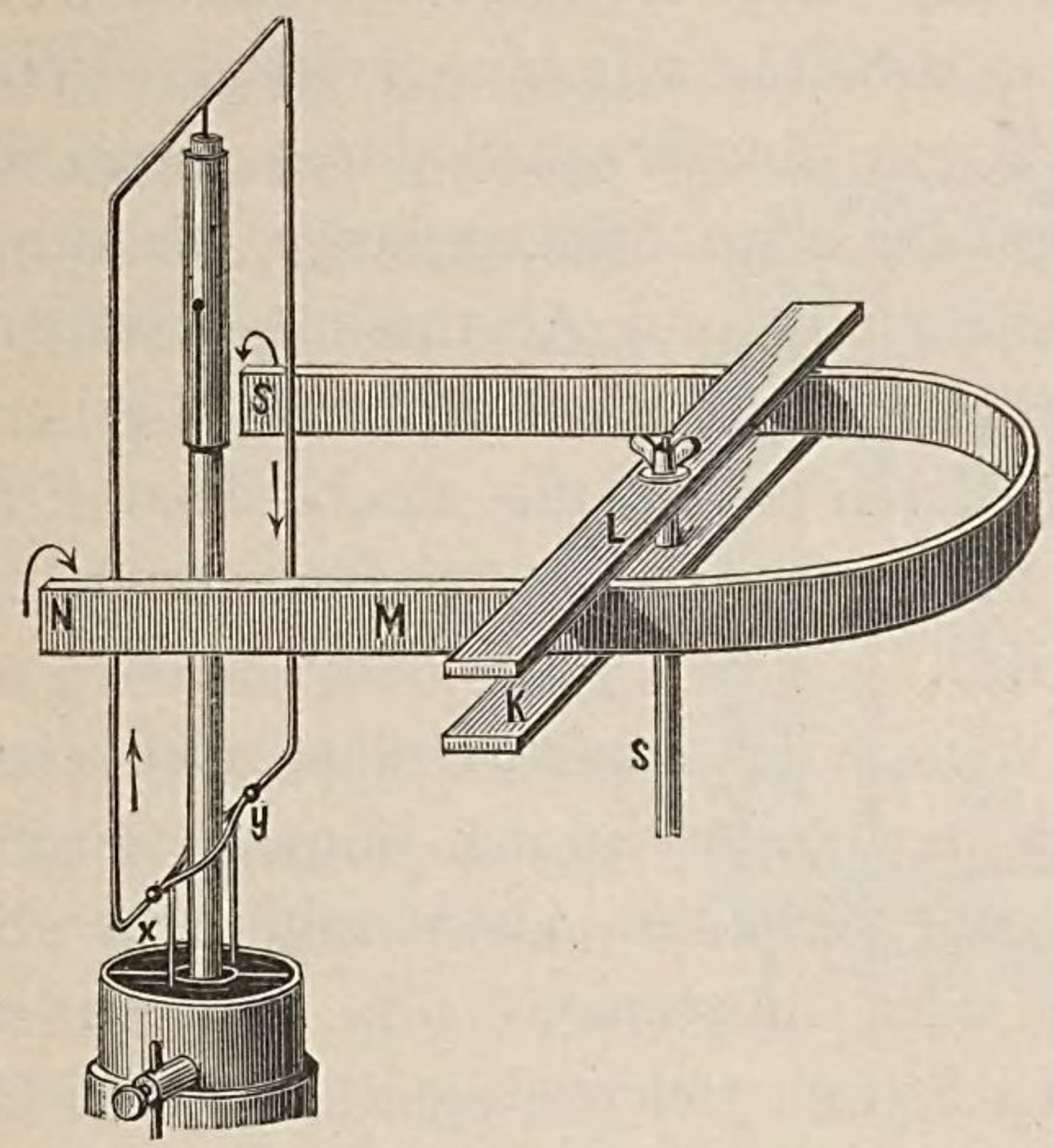
Aber auch der wagrechte Theil begünstigt die Bewegung des Drahtes in dem angedeuteten Sinne und so bewegt er sich so lange fort, bis seine Ebene senkrecht steht zur Verbindungslinie der Magnetpole, in diesem Augenblicke wird aber der Strom unterbrochen, da der Draht auf die Trennungsstelle der beiden mit Quecksilber gefüllten Halbringe kommt.

In Folge der Trägheit bewegt er sich jedoch darüber hinaus; indem er abermals eintaucht, durchkreist ihn neuerdings ein Strom, jedoch in entgegengesetzter Rich-

tung, was zur Folge hat, dass er seine Bewegung in gleichem Sinne fortsetzt.

Statt blos einen U-förmigen Draht zu benutzen, könnten wir auch mehrere vereinigen, es würde sich aber bald herausstellen, dass damit nichts gewonnen ist, sobald wir nicht eine stärkere Stromquelle anwenden, weil ja durch jeden Draht, sobald wir n solcher Systeme

Fig. 32.



verwenden, nur der $^1/_n$ Theil des Stromes fliesst, vorausgesetzt, dass alle Drähte gleichen Widerstand haben.

Wenn wir jedoch alle diese Systeme durch horizontale Drähte hintereinander verbinden, so dass alle gleichzeitig von demselben Strome durchflossen werden, so wie unsere Spirale, vorausgesetzt, dass der Widerstand zu gering ist, um die Stromstärke merklich zu verändern, dann erhalten wir auch eine kräftigere Drehung unseres Gehänges.

Wir hätten jedoch auch die U-förmigen Drähte statt parallel gekreuzt anordnen können, würden aber auch da in dem ersten Falle keine Verbesserung erzielt haben, da hier wie dort der Strom in den einzelnen Drähten schwächer, die Summe wohl gleich, aber das ganze System schwerer ist.

Lassen wir den Strom jedoch nur immer durch einen Draht eintreten, indem wir die Quecksilberrinne kürzer machen, dass sie einem Winkel von 90 Grad entspricht, so erhalten wir eine kräftigere Wirkung, weil der ganze Strom immer nur durch einen Draht geht, und zwar gerade dann und so lange, als der Magnet die kräftigste Anziehung und Abstossung ausüben kann.

Wir erhalten statt eines Impulses bei einer halben Umdrehung deren zwei, die noch dazu kräftiger sind und dazu beitragen, dass die Bewegung eine gleichförmigere wird.

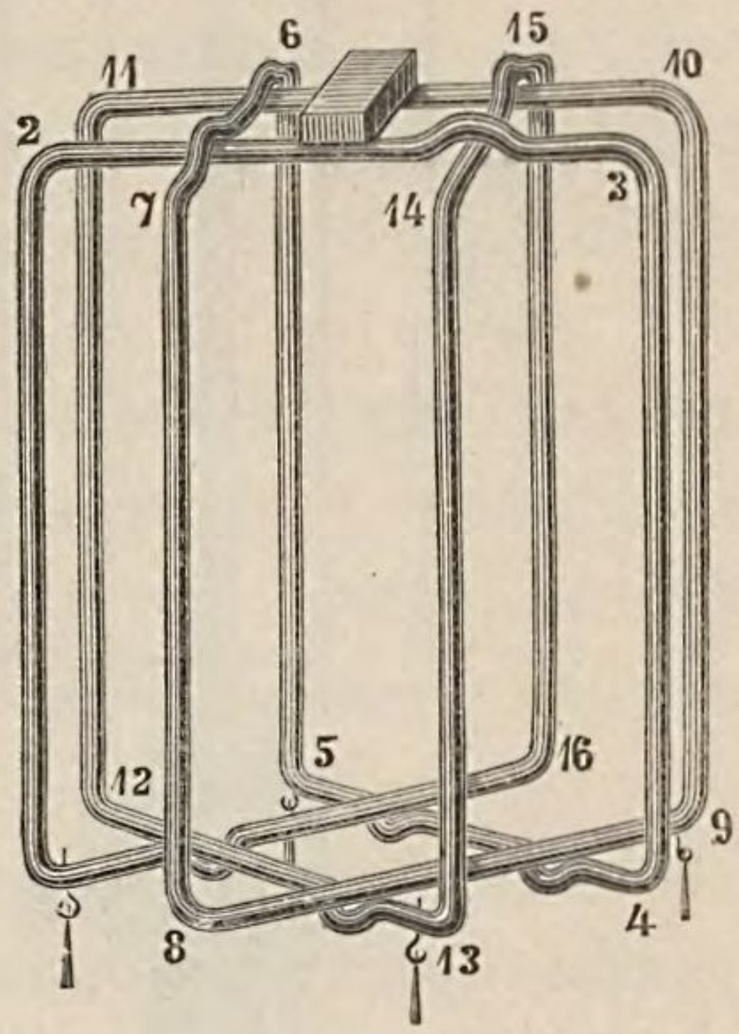
Wenn wir die gekreuzten Drähte noch vervielfältigen, können wir dazu eine immer kürzere Quecksilberrinne anwenden, wir erhalten aber zahlreiche Stromunterbrechungen oder müssen es uns gefallen lassen, dass zeitweilig der Strom gleichzeitig durch zwei Drähte geht; wären wir im Stande, die U-förmigen Drahtstücke, wie wir es oben gethan, auf geeignete Weise miteinander zu verbinden, dass nur Ein Stromkreis entsteht, so würden wir gleichfalls ein sehr günstiges Ergebniss zu erwarten haben.

Dies ist in der That durch eine Verbindungsweise gelungen, welche in der nachfolgenden Fig. 33 vorgeführt ist und dem bekannten Elektriker Hefner von Alteneck entstammt.

Wie aus der Zeichnung deutlich ersichtlich ist, theilt sich der zugeleitete Strom an der Stelle bei *a* und

läuft einerseits über 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 nach 9, andererseits nach demselben Punkte über 1, 16, 15, 14, 13, 12, 11, 10; dabei ist die Hälfte der Drähte, und zwar alle rückwärts befindlichen, 1—2, 12—11, 5—6, 16—15, von einem aufwärtssteigenden Strom durchflossen, während derselbe in den übrigen nach abwärts geht. Nimmt der im Eckpunkt 5 befindliche Zuleitungsdraht die Stelle des in 1 angebrachten ein, so ändert sich weiter nichts an den Verhältnissen, als dass in den nächsten zwei Drähten eine Stromumkehr stattfindet, was leicht ersichtlich ist, wenn man sich denkt, dass bei 5 ein Strom eintritt.

Fig. 33.



In jedem einzelnen der Drähte wird zwar der Strom nur halb so stark sein als in unserem U-förmig gebogenen, da wir aber deren acht haben, wird der Strom dennoch die vierfache Kraft äussern; es wird aber ferner auch dieselbe deshalb grösser sein, weil bei jeder Umdrehung statt zwei Impulsen deren vier statthaben (wobei die Quecksilberrinne einem Winkel von 90 Grad entspricht), woraus eine grössere Schnelligkeit der Drehung entspringt. Dabei ist auch die Einwirkung der magnetischen Anziehung und Abstossung stärker, weil die stromdurchflossenen Drähte nie über ein gewisses Bereich hinaustreten, während der einfache Draht bis 90 Grad sich über die Stellung der grössten Kraftwirkung entfernt.

Wie wir schon an einer anderen Stelle erwähnten und ja leicht verständlich ist, heben sich die Kraftäusserungen auf, sobald die Rückführungsdrähte den Zuführungsdrähten sehr nahe liegen; es liegt also auf der Hand, dass ein Draht wie der in der Fig. 34 gezeichnete sich unter dem Einfluss der Magnetpole nur ausserordentlich

Fig. 34.

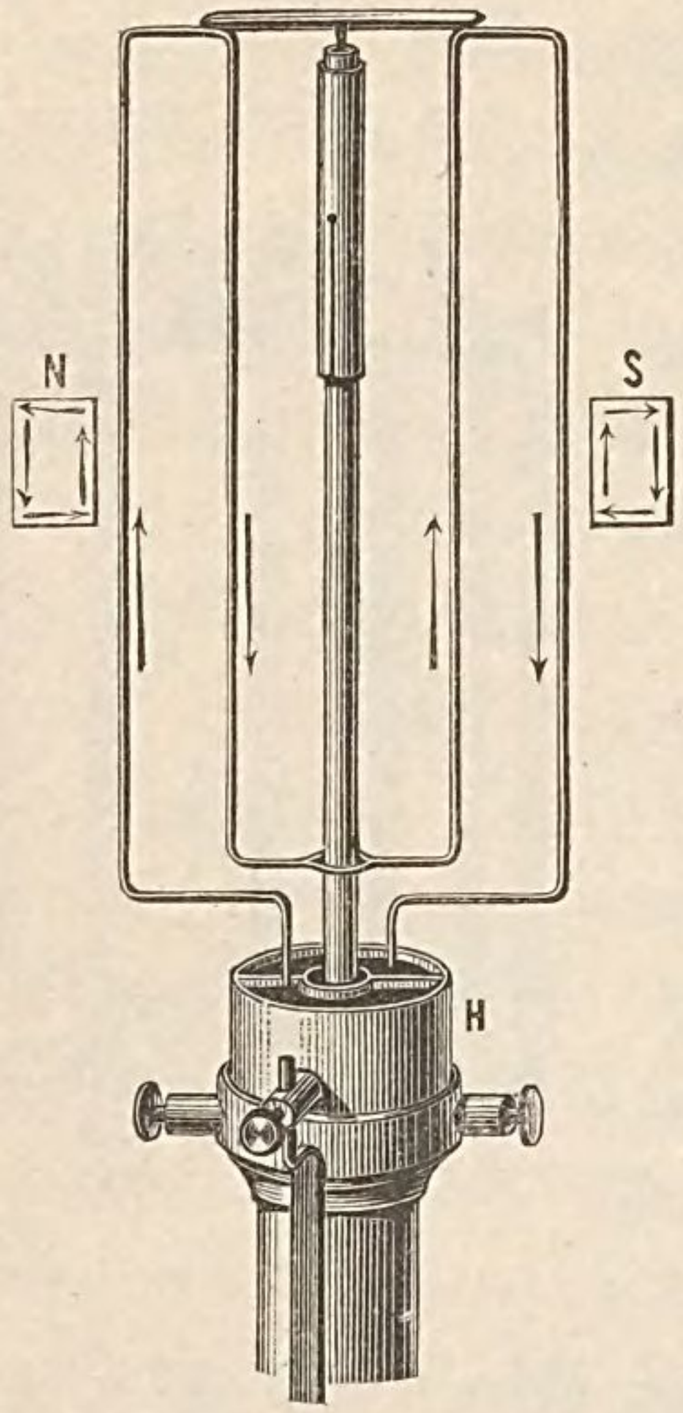
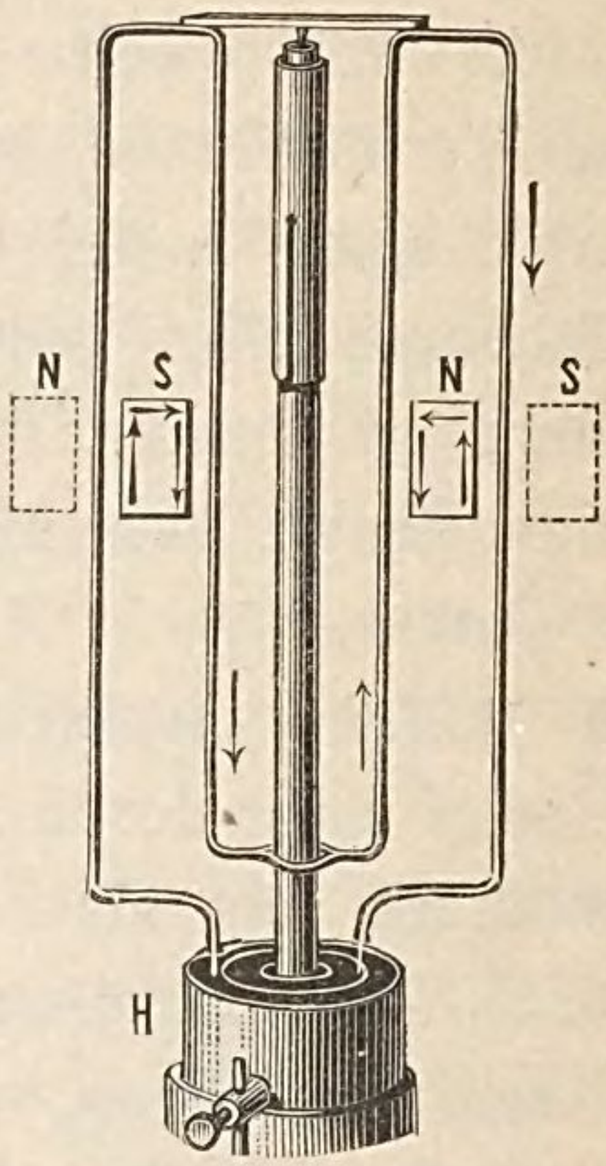


Fig. 35.



schwach bewegen wird; dass er sich bewegt, dazu trägt nur der verschieden grosse Abstand vom Magnetpole und eine daraus erwachsende Differenz der Anziehung und Abstossung bei.

Völlig anders gestalten sich aber die Verhältnisse, wenn wir die Magnetpole zwischen die beiden Drähte, wie Fig. 35 zeigt, verlegen. Während der Nordpol auf 1 und 2 abstossend wirkt, so dass sich beide Drähte

aus der Ebene des Papieres gegen den Beschauer hin zu bewegen trachten werden, werden die Drähte 3 und 4 angezogen, von uns entfernt — zwei Bewegungsrichtungen, welche sich ergänzen.

Wenn wir, wie oben, noch ausserhalb die entgegengesetzten Magnetpole anbringen, so würde dies nur die Kraft verstärken, mit welcher diese Bewegung vollführt wird.

Geben wir unserem System eine andere Gestalt dadurch, dass wir statt zwei solcher U-förmiger Biegungen deren mehrere in einem Kreise anordnen, so können wir eine weitere Verstärkung der Wirkung erhalten, wenn wir dieselben unter Berücksichtigung des schon früher Gesagten hintereinander verbinden.

Wir erhalten dadurch geschlossene Spiralen, kurz das, was unter dem Namen Pacinotti's oder der Gramme'sche Ring bekannt ist, und können uns nun vorstellen, wie dessen Bewegung zwischen den Magnetpolen zu Stande kommt.

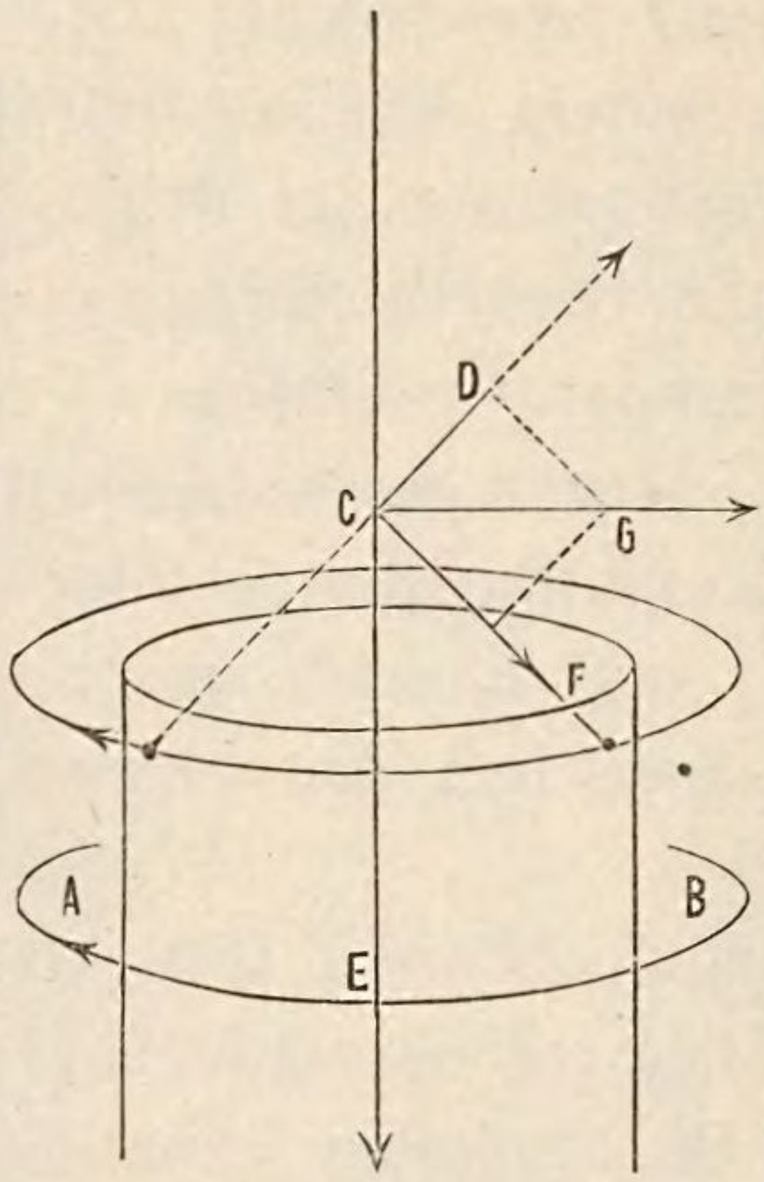
Selbstverständlich können wir jetzt nicht mehr die Schenkel eines Magnets einschieben, sondern müssen annehmen, dass die Spiralen einen Ringmagnet umschliessen. Später, wenn wir von den Magneten sprechen werden, wollen wir nochmals auf diesen Gegenstand zurückkommen.

Es ist nicht schwer zu begreifen, dass unter dem Einflusse eines Magnets ein Leiter was immer für einer Art in Drehung versetzt werden kann.

Haben wir z. B. (Fig. 36) einen Magnetpol und ein stromdurchflossener Leiter befindet sich in seiner Nähe, so können wir uns folgende Vorstellung machen über die Art und Weise, wie beide aufeinander einwirken.

Wir können uns den Magnet ersetzt denken durch ein System von Kreisströmen nach der Art der Ampère-schen Molekularströme, dabei können wir noch die Annahme machen, dass die Vertheilung eine solche ist, dass sie der magnetischen Kraft entspricht. Von allen wollen wir den in der Fig. 36 ober AB gezeichneten in Betracht ziehen; ist seine Richtung die durch den Pfeil angedeutete und die des Stromes im Leiter CE

Fig. 36.



eine von oben nach unten gehende, so ergiebt sich Folgendes:

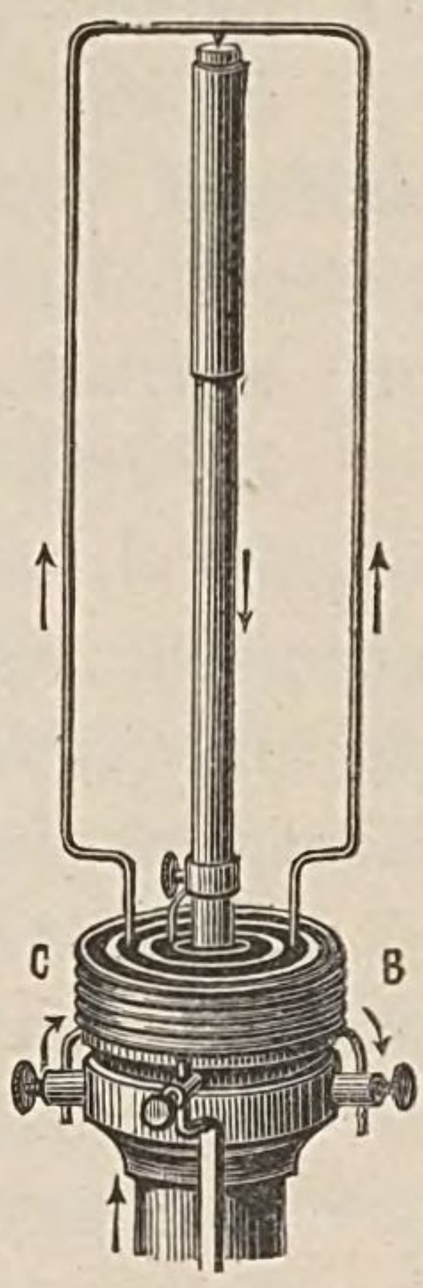
Ein ober A befindliches Stromelement wird auf ein solches in C eine abstossende Wirkung äussern, und zwar in der Richtung der Verbindungslinie beider. Die Grösse der Kraft sei durch CD angegeben. Ein zum Leiter CE symmetrisch gelegenes Stromelement ober B hingegen wird anziehend wirken, weil es zum Kreuzungspunkt fliesst, die Grösse der Kraft wird dieselhe sein, sie sei dargestellt durch CF.

Suchen wir die Resultirende beider Kräfte, indem wir das Kräftenparallelogramm zeichnen, so erhalten wir die Linie *C G*, welche uns sagt, dass eine Bewegung des Stromelementes *C* von links nach rechts, also entgegen der Stromrichtung *A B* angestrebt wird, und zwar mit einer Kraft, deren Grösse *C G* angiebt.

Wir dürfen nicht vergessen zu bemerken, dass die unter der Ebene des Magnetpoles oder des betrachteten Stromelementes liegenden Drahttheile einer entgegengesetzt wirkenden Kraft ausgesetzt sind, weshalb der oberhalb liegende Theil länger sein muss, wenn die Drehung zu Stande kommen soll.

Das gleiche Ergebniss hätten wir natürlich für zwei Ströme erhalten, die unter den gleichen Bedingungen fliessen. (Fig. 37).

Fig. 37.



Aber auch umgekehrt können wir uns vorstellen, dass für den Fall, in welchem der Magnet beweglich, der Stromleiter aber festgelagert ist, bei genügender Stärke des Stromes eine Bewegung des Magnets erfolgen muss.

Aber nicht nur starre Systeme, sondern auch flüssige und gasförmige Leiter werden in Drehung versetzt, ja an einem der letzteren, dem Voltaschen Bogen, wurde diese Erscheinung zum erstenmale, und zwar von Humphry Davy vor 62 Jahren beobachtet.

Ist nämlich die untere Elektrode ein magnetischer Stahlstab, so beginnt der Bogen um dessen Pol herum sich in Drehung zu versetzen, und zwar in demselben Sinne, den wir für einen festen Leiter klargelegt haben.

Gesetze, nach welchen die Magnetisirung eines Eisenstabes oder Stahlstabes erfolgt.

Gelegentlich der Untersuchung, welche wir über die Frage anstellten, wie ein stromdurchflossener Leiter auf einen in der Nähe befindlichen Eisenstab wirkt, haben wir ersehen, dass derselbe unter dem Einflusse des Stromes magnetisch wird; wir haben uns auch klar gemacht, dass eine Gesetzmässigkeit herrscht, derzufolge die Bildung des Nord- und Südpoles vor sich geht.

Es kann wohl keinem Zweifel unterliegen, und ein einfacher Versuch bestätigt dies, dass die Stärke des gebildeten Magnets von der Zahl der Windungen abhängt, von welchen der Eisenstab umgeben ist.

Zwei Gelehrte, Lenz und Jacobi, welche sich zuerst eingehend mit dieser Frage beschäftigten, haben auch gefunden, was ja auch leicht begreiflich ist, dass die Stromstärke im geraden Verhältniss steht zur Kraft, welche der Magnet erlangt, und dass die Weiten der Windungen so lange ohne Belang sind, als die Enden des Stabes entsprechend weit aus der Magnetisirungsspirale herausragen.

Die eben erwähnte Gesetzmässigkeit gilt aber nur für verhältnissmässig schwache Ströme und dicke Stäbe.

Die Beobachtung, dass dies der Fall ist, verdanken wir Joule, eine eingehende Arbeit über diesen Gegenstand J. Müller, die wir nach seinem Buche, da uns dieser Gegenstand für die Praxis sehr wichtig erscheint, bringen wollen. Bei diesen Versuchen wurde die Stärke des Magnetismus nach der Ablenkung beurtheilt, welche die Magnetisirungsspirale auf ein Magnetometer ausübte. Die Stärke des Stromes bestimmte eine etwa 30 Meter

weit entfernte Tangentenbussole. Die Stromquelle bestand aus sechs Bunsen-Elementen. Die Axe der Magnetisirungsspirale stand rechtwinkelig auf dem magnetischen Meridian, in welchem das Magnetometer eingestellt war, dessen Spiegel durch ein 208 Cm. weit entferntes Fernrohr beobachtet wurde.

Der Strom, dessen Stärke S durch die trigonometrische Tangente des Ablenkungswinkels gegeben war, der an der Tangentenbussole beobachtet wurde, brachte natürlich auch, ohne dass ein Eisenstab in der Spirale lag, eine Ablenkung am Magnetometer hervor, diese wurde vor jeder Magnetisirung für die betreffende Stromstärke bestimmt und die Anzahl n der Theile abgezogen von der Zahl ν, welche bei eingeschobenem Eisenstab erhalten wurde; das Ergebniss $M = \nu - n$ war dann das magnetische Moment des Eisenstabes.

Die Eisenstäbe waren 33 Cm. lang und ragten um $1^1/_2$ Cm. beiderseits aus der Magnetisirungsspirale heraus, welche aus 380 Windungen eines auf 5 Lagen vertheilten 2·8 Mm. dicken Kupferdrahtes bestand.

Wir geben in nachstehender Tafel eine kleine Uebersicht über die angestellten Versuche.

d = Stabdicke in Millimeter	S = trigonometrische Tangente	M = magnet. Momente		Unterschied	$\frac{M}{S}$
		beobachtet	berechnet		
44·5	0·785	20·41	20·06	— 0·35	25·6
	0·344	8·80	8·81	+ 0·01	25·6
	0·129	3·41	3·31	— 0·10	26·4
15·0	0·611	8·38	8·09	— 0·29	13·7
	0·414	5·95	5·83	— 0·12	14·3
	0·126	1·81	1·87	+ 0·06	15·0
6·0	0·871	2·56	2·91	+ 0·35	2·94
	0·567	2·29	2·61	+ 0·32	4·04
	0·382	2·45	2·27	+ 0·12	5·62
	0·213	1·78	1·64	— 0·14	8·35
	0·124	1·14	1·08	— 0·06	9·19

Unter Annahme zweier Factoren, welche sich für gewisse Längen der Spiralen als constant herausstellten und welche für die in der Tafel angeführten Versuche die Werthe

$$A = 0{\cdot}016 \text{ und } B = 0{\cdot}00108$$

hatten, fand J. Müller, dass sich für S folgende Formel aufstellen lässt.

$$S = A\, d^{\frac{3}{2}}\, \frac{M}{B\, d^2}.$$

Alle in der Tafel angeführten berechneten Werthe für M sind nach dieser Formel gefunden worden.

Zur Bestimmung des M gab A. von Waltenhofen der Formel nachstehende Umgestaltung:

$$M = B\, d^2\, arc\ tang\, \frac{S}{A\, d^{\frac{3}{2}}}.$$

Wird statt m das magnetische Moment y des Stabes und statt S das magnetische Moment x der Spirale gesetzt, so erhalten wir, wenn gleichzeitig statt der Dicke des Stabes dessen Gewicht γ eingeführt wird,

$$y = \beta\gamma\, arc\ tg\, \frac{x}{\alpha\, \gamma^{3/4}}$$

unter der Voraussetzung, dass α und β die Constanten sind.

Wird $S = \infty$, so ist $M = 90\ Bd^2$, weil $\frac{M}{B\partial^2} = 90$, was bedeutet, dass selbst für eine unendliche Grösse der Stromstärke der Magnetismus des Stabes nur einen endlichen Werth erhält, woraus wir den Schluss ziehen können, dass es für jeden Eisenstab ein absolutes Maximum des Magnetismus giebt, welches dem Querschnitt des Stabes oder dem Quadrate seines Durchmessers proportional ist.

Da sich S und M so lange ziemlich proportional bleiben, so lange $\frac{M}{0{\cdot}00108\ d^2}$ einem kleinen Winkelwerth entspricht, können wir

$$S = c\ d^{\frac{3}{2}}\ \frac{M}{d^2} \text{ setzen,}$$

$$\text{woraus sich } M = \frac{S\sqrt{d}}{c} \text{ ergiebt,}$$

dabei bedeutet c eine leicht bestimmbare constante Grösse.

Das oben Gesagte in Worten ausgedrückt heisst:

Der durch gleiche Ströme in verschiedenen Eisenstäben erzeugte Magnetismus ist der Quadratwurzel aus deren Dicke so lange proportional, als auch der Stabmagnetismus der Stromstärke proportional ist.

A. von Waltenhofen hat gezeigt: Letzteres ist so lange der Fall, bis der durch Steigerung des Stromes erhaltene Magnetismus fast die Hälfte des magnetischen Maximums erreicht hat.

Ueber diesen Punkt hinaus muss man sich dann an die Müller'sche Formel halten.

Aus seinen und anderen Arbeiten sowohl, als auch aus theoretischen Gründen zieht A. von Waltenhofen die Folgerung, dass β eine Constante sei, die für alle Elektromagnete gleiche Grösse besitzt.

Wird $x = \infty$, so haben wir $\frac{\gamma}{\gamma} = 90\ \beta$, d. h. für den Fall, dass x, hier das magnetische Moment der Spirale, unendlich gross wird, das magnetische Moment des Stabes, getheilt durch dessen Gewicht,

für alle Elektromagnete die gleiche Grösse 90 β haben müsse.

Ungefähr beträgt dieses magnetische Maximum der Gewichtseinheit Eisen für jedes Milligramm 2000 Gausssche Einheiten.

Hieraus geht klar hervor, dass der Grenzwerth der Magnetisirung dem Gewichte proportional ist.

Dub, Wiedemann, Quintus Icilius sowohl wie Waltenhofen haben die von Lenz beobachteten kleinen Abweichungen in der Proportionalität zwischen Stromstärke und Magnetismus der Stäbe bei Beginn der Magnetisirung (also sehr weit vom Sättigungspunkt entfernt) bestätigt. Sie fanden für den angegebenen Fall: dass die magnetische Kraft schneller zunehme als die Stromstärke; übrigens tritt diese Erscheinung merkbarer nur bei dünnen Stäben auf.

Die verschiedenen Abweichungen gestatten es eigentlich nicht, alle diese Beobachtungen zu einem allgemein giltigen Gesetze zu vereinigen, doch geht man nicht weit fehl, wenn man sagt:

Der Elektromagnetismus nimmt zu Beginn der Magnetisirung rascher zu als die Stromstärke; diese Zunahme wird sodann proportional und bleibt, je mehr sich die Stäbe dem Sättigungsgrade nähern, immer weiter in der Proportionalität zurück.

Dieses Gesetz hat natürlich nur Giltigkeit für einen bestimmten Eisenstab oder besser gesagt, die Proportionalität lässt sich nur beobachten, wenn die Messungen an einem und demselben Stabe angestellt werden, denn je nach der Natur der angewendeten Eisensorte wird der Sättigungspunkt langsamer oder schneller erreicht und

ist der erhaltene Magnetismus bei derselben Stromstärke verschieden. Während z. B. ein Versuch mit 16·1 Cm. langen und 6 Mm. dicken Eisenstäben für das *M* bei Schmiede-Eisen 0·499 ergab, wurde bei Gusseisen *M* nur gleich 0·246 gefunden.

Ebenso verschiedene Ergebnisse lieferte Stahl, für welchen, ausgeglüht, $M = 0{\cdot}437$ war, während er gehärtet $M = 0{\cdot}248$ ergab.

Remanenter Magnetismus.

Während diesen Versuchen können wir eine Erscheinung beobachten, welche eine besondere Tragweite besitzt, es ist dies nämlich der Umstand, das nach Aufhören des Stromes der Magnetismus nicht sofort gänzlich verschwindet.

Den rückbleibenden Magnetismus nennt man den remanenten Magnetismus, der, wie Untersuchungen dargethan haben, über die Hälfte des Werthes erreichen kann, welcher sich ergab, so lange der Strom einwirkte.

Die Stärke des remanenten Magnetismus steht im umgekehrten Verhältniss zur Härte des Eisenstabes, ist also bei gehärtetem Stahl am grössten, bei welchem er den oben genannten Werth erreichen kann.

Nach den Untersuchungen, die A. v. Waltenhofen zur Begründung des Verhältnisses zwischen Stromstärke und Magnetismus für dünne Stahlstäbe anstellte, ergab sich, vorausgesetzt, dass die Magnetisirung nicht sehr stark war,

$$y = C\partial^{\frac{3}{2}} x^{\frac{4}{3}}$$

in welcher Formel C eine Constante ist, die mit zunehmender Härte des Stahles abnimmt und deren Grösse von der Stahlsorte abhängt.

Aber auch beim Stahl wird bei stärkerer Magnetisirung ein Grenzwerk erreicht.

Reducirt man das magnetische Moment auf die Gewichtseinheit des Stabes, so erhält man eine Zahl, die dessen specifischen Magnetismus angiebt. Dieser ist für den remanenten Magnetismus der Stahlstäbe (also für Magnetstäbe) in den häufigsten Fällen kleiner als 400.

Die Grösse des remanenten Magnetismus hängt jedoch nicht blos von der Eisensorte, sondern auch davon ab, welche Gestalt der Eisenstab hat.

Ruths hat gefunden, dass er um so grösser wird, je mehr in die Länge gezogen der Stab ist, d. h. je mehr die Länge gegen die Dicke überwiegt, was sich vielleicht aus der gegenseitigen Beeinflussung, welche die kleinsten Magnettheilchen aufeinander ausüben, erklärt, wenn man bedenkt, dass dieselbe in einem langgestreckten Gegenstand erheblicher sein muss als in einem anderen, da dieselben dann in der Richtung der Axe aufeinander wirken.

Im weichen Eisen bleibt ferner ein grösserer remanenter Magnetismus zurück, wenn die Stromstärke nicht plötzlich, sondern allmählich auf Null sinkt. A. v. Waltenhofen, der diese Erscheinung zuerst beobachtet hat, fand sogar, dass bei plötzlichen Stromunterbrechungen, bei welchen der remanente Magnetismus meistens sehr klein bleibt, sogar eine entgegengesetzte remanente Polarität beobachtet werden kann. Wenn wir uns vorstellen, dass

der galvanische Strom, indem er die magnetischen Theilchen in eine gleichförmige Lage bringt, eine Arbeit vollführt, die etwa dem Spannen einer Feder ähnlich ist (hier vieler kleiner Federn), so können wir uns die obigen Thatsachen, das Beispiel verfolgend, damit erklären, dass wir ein langsames Abnehmen des Stromes einem langsamen Nachlassen der Federn zur Seite stellen und das Stromunterbrechen einer plötzlichen Auslösung derselben. Fügen wir ferner noch die Annahme hinzu, dass die Theilchen während ihrer Bewegung eine Reibung zu überwinden haben, welche dann Ursache ist, dass sie nicht sogleich und ganz in ihre ursprüngliche Stellung zurückkehren, so haben wir ein annäherndes Bild der Vorgänge.

Werden die Federn plötzlich ausgelöst, so schnellen sie, die Reibung überwindend, in ihre Anfangslage zurück, ja ziehen sich vermöge der Trägheit noch weiter zusammen, was der umgekehrten Polarität entspricht. Geschieht die Stromabnahme langsam, so werden die Reibungswiderstände nicht ganz überwunden, die Federn bleiben zurück, was dem remanenten Magnetismus gleichkommt.

Nach der Vorstellung, welche wir nun über den Vorgang bei der Magnetisirung eines Eisen- oder Stahlstabes haben, lässt sich auch ungezwungen erklären, wieso es kommt, dass mit der Zeit der remanente Magnetismus, also auch bei gewissen Stahlsorten der permanente Magnetismus abnehmen kann; nach und nach wird eben die angenommene Reibung durch die Federkraft überwunden.

Aber auch ein anderer Umstand wird damit erklärt, nämlich der, dass sich weiches Eisen, das sehr rasch

hintereinander magnetisirt und entmagnetisirt wird, sich endlich erwärmt — eine Erscheinung, die besonders störend bei den grösseren elektrischen Maschinen auftritt. Es ist dies gerade so, als ob bei der immerfort zu überwindenden Reibung der kleinsten Theile, sowie bei der Reibung von Körpern aneinander Wärme frei wird.

Permanente oder Stahlmagnete.

Aus dem Vorangegangenen wissen wir bereits, wie wir verfahren müssen, um durch einen elektrischen Strom bleibend Stahlstücke zu magnetisiren.

Wir wollen jetzt nur einige nähere Bestimmungen geben, welche sich in der Praxis bewährt haben, wie man dabei verfährt.

Wir stellen uns eine Spirale aus Kupferdraht her, deren Höhlung den zu magnetisirenden Stahlstab aufnehmen kann, schieben diesen hinein und schliessen nun den Strom, dessen innerer Widerstand dem der Spirale gleichkommen soll. Durch öfteres Oeffnen und Schliessen des Stromes sind wir im Stande, die Grösse des permanenten magnetischen Momentes zu erhöhen.

Während nämlich die Dauer der Einwirkung des elektrischen Stromes nur einen geringen Einfluss ausübt, ist ein oftmaliges oder besser mehrmaliges Magnetisiren, wie wir es durch Oeffnen und Schliessen des Stromes oder Herausziehen und Hineinschieben des Stahlstabes vollziehen, von einem günstigen Erfolge begleitet, denn es wächst dadurch bis zu einer gewissen Grenze das magnetische Moment.

Fromme und Frankenstein haben sogar gewisse Beziehungen aufgefunden, die zwischen der Zahl der Magnetisirungen und dem permanenten Momente herrschen sollen, das unabhängig ist von der Stärke des Feldes sowohl, als auch von der Coërcitivkraft und den Ausmassen des Stahlstabes.

Elias, der sich gleichfalls viel mit diesem Gegenstand beschäftigte, stellte seine Spirale aus einem etwa 7 Meter langen, gegen 3 Mm. dicken, gut übersponnenen Kupferdraht her. Die Spirale hatte bei einem inneren Durchmesser von 4 Cm. nur eine Höhe (Länge) von 2·5 Cm.

Wenn der Stahlstab eingeschoben ist, wird der Strom geschlossen und zweckmässig eine Verbindung der Enden des Stahlstabes durch weiches Eisen hergestellt.

Hat der Stahl eine hufeisenförmige Gestalt, so schiebt man über jeden Schenkel eine Spirale und legt einen Anker aus weichem Eisen an.

Ist der Strom geschlossen, so bewegt man den Stab oder das Hufeisen einigemale hin und her, wenn man nicht lieber den Strom unterbrechen will; dies geschieht schliesslich, wenn das Magnetisiren beendigt werden soll.

Das eben beschriebene Verfahren ist besonders in Frankreich gebräuchlich und wird immer angewendet, wenn es sich darum handelt, die Blätter des Jamin'schen Magnets zu magnetisiren.

Eine andere Art, permanente Magnete herzustellen, besteht in dem Streichen des Stahles an anderen Magneten oder Elektromagneten. Hier wollen wir nur den letzteren Vorgang beschreiben.

Vor Allem benutzt man einen recht kräftigen Apparat dieser Art, legt den Magnetstab in der Mitte seiner Länge auf den Magnetpol, schliesst den Strom und zieht

nun immer von der Mitte zu dem einen Ende; glaubt man dies genügend oft vollführt zu haben, was bei zehn- bis zwanzigmaligem Streichen, sobald der Stahl nicht ganz ausserordentlich hart ist, zutrifft, so unterbricht man den Strom, legt den Magnetstab auf den anderen Pol und streicht, wenn der Strom geschlossen, von der Stabmitte zum anderen Ende.

Aber auch bei der Anwendung eines Elektromagnets kann man sich, statt zu streichen, damit begnügen, den Strom blos öfter zu unterbrechen und zu schliessen; dabei legt man zweckmässig die Enden auf die Pole der Elektromagnetschenkel oder deren geeignete Verlängerungen. Hat man ein Hufeisen zu magnetisiren, so streicht man beide Schenkel zugleich.

Nach Frick ist das Magnetisiren mit Hilfe eines Elektromagnets, wie wir es oben beschrieben haben, besonders dann jenem mittelst der Spirale vorzuziehen, wenn der Stahlstab sehr stark und hart ist. Wir brauchen wohl nicht besonders darauf hinzuweisen, dass immer der dem Elektromagnetpol entgegengesetzte Magnetismus erlangt wird, d. h. das Ende des Stahlstabes, welches wir am Nordpol streichen, südpolar wird.

Bei der Spirale haben wir uns diesbezüglich an die schon früher bezüglich der Bildung des Nordpoles gegebenen Regeln zu halten.

Vertheilung des Magnetismus in Stahlstäben.

Stellen wir uns eine lange Magnetisirungs-Spirale her und schieben in diese nach und nach kurze Stahlstäbchen ein, so dass sie dann, sobald sie magnetisch

sind, einen langen zusammenhängenden Stab bilden, so werden wir finden, dass jenes Stäbchen, welches die Mitte einnimmt, trotzdem es unmagnetisch scheint, sobald wir selbes von der Verbindung mit den übrigen Stäbchen trennen, stärker magnetisch ist, als die mehr gegen die Enden gelegenen.

Wir sehen also, dass wir in einem Stabe zweierlei Magnetismus zu unterscheiden haben werden, den gesammten Magnetismus und den freien Magnetismus, welchen wir an seinen Fernwirkungen erkennen.

Diesen Umstand zu erklären, könnten wir annehmen, der Magnetstab bestände wirklich aus einer Reihe solcher kleiner Elementarmagnete, die alle den Nordpol nach der einen, den Südpol nach der anderen Seite gerichtet haben.

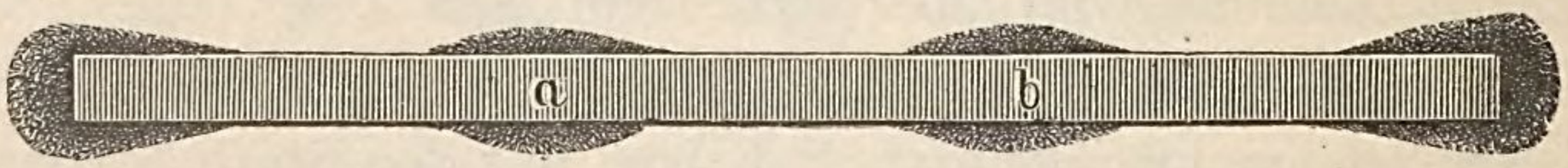
Betrachten wir das letzte Stäbchen links, das am Ende den Südpol haben soll, so finden wir, dass auf diesen alle rechtsliegenden Stäbchen mit den Südpolenden verstärkend wirken (durch Influenz, wie bei der Elektricität, den entgegengesetzten Zustand anziehend, den gleichen abstossend), während die Nordpolenden, die jedoch ferner liegen, schwächend wirken. Gehen wir zu dem nächsten, weiter rechts liegenden Stäbchen über, so finden wir dieses nicht blos beeinflusst von allen rechts, sondern auch von unserem links liegenden Theilchen, so dass es unbedingt stärker magnetisch werden muss, und so fort; wir sehen also, dass die Stärke wächst, je mehr wir uns der Mitte nähern. Dieser Magnetismus tritt aber nicht merkbar auf, weil ja dem Südpol der unmittelbar vorhergehende, wohl etwas schwächere, Nordpol anliegt.

Gehen wir jetzt von der Mitte aus und fangen bei dem stärksten Südpol an, so folgt ihm ein nur Weniges schwächerer Nordpol; es bleibt also wenig Südpolarität,

die nach aussen wirken kann. Je mehr wir aber gegen das Ende kommen, desto grösser wird der Unterschied zwischen zwei aneinander lagernden Polen, desto stärker wird die inducirende Wirkung, bis schliesslich das Ende erreicht ist, wo der stärkste freie Magnetismus herrscht.

Selbst angenommen, dass alle Elementarmagnetstäbchen gleich stark wären, würde doch auf ein ausserhalb befindliches Theilchen, das in der Mitte liegt, die Gesammtwirkung Null sein, weil sich die Wirkungen der übrigen Stabtheile aufheben. Diese Wirkungen müssen aber anwachsen, wenn wir das Theilchen den Enden nähern, weil dann das eine Stabende schwächer wirkt, da es ferner liegt als das andere.

Fig. 39.



Coulomb hat genaue Untersuchungen über diesen Gegenstand angestellt, indem er eine Magnetnadel vor dem Magnetstab schwingen liess und die Zu- und Abnahme der Schwingungen beobachtete. Die Curve, welche sich nach diesen Messungen errichten lässt, nimmt zu Beginn sehr rasch ab und ergiebt in der Stabmitte den Werth Null für die Stärke des freien Magnetismus.

Die Formel für diese Curve, welche Biot aufstellte, lautet:

$$y = A\left(m^{x} - m^{2l-x}\right);$$

in ihr bedeutet $2\,l$ die Länge des Stabes, A und m 2 Constante und x die Abcissen, welche nicht vom Stabmittel, sondern von einem Stabende zum anderen gezählt werden.

Wir wollen nicht zu bemerken vergessen, dass der Angriffspunkt aller Kräftewirkungen auf ein Theilchen in grösserer Entfernung, der Pol also, nicht am Ende, sondern von demselben bei 25 Cm. langen Stäben 4 Cm. und bei kürzeren etwa ein Sechstel der Länge des Stabes entfernt liegt.

Nicht immer ist es jedoch nothwendig, dass in einem solchen Stab blos zwei Stellen vorhanden sind, in welchen der freie Magnetismus am stärksten ist. Hiervon können wir uns leicht eine Vorstellung machen, wenn wir annehmen, wir würden zwei Magnetstücke nacheinander so legen, dass die Südpole sich berühren und an den beiden anderen Enden Nordpole vorhanden wären. Die beiden Südpole heben sich selbstverständlich nicht auf und wir haben einen Stab mit drei Polen etc. etc.

Einen derartigen Stab nennt man einen Magnet mit Folgepunkten; sie treten sichtbar auf, wenn wir Eisenfeile aufstreuen (Fig. 39).

Nach dem eben erklärten Principe können wir uns auch ein vollkommen geschlossenes System vorstellen, z. B. einen Ring, der zwei Pole hat; wir brauchen uns blos zu denken, wir hätten zwei Halbringe, mit den gleichen Polen aneinandergelegt — eine Anordnung, von welcher zuweilen Gebrauch gemacht wird.

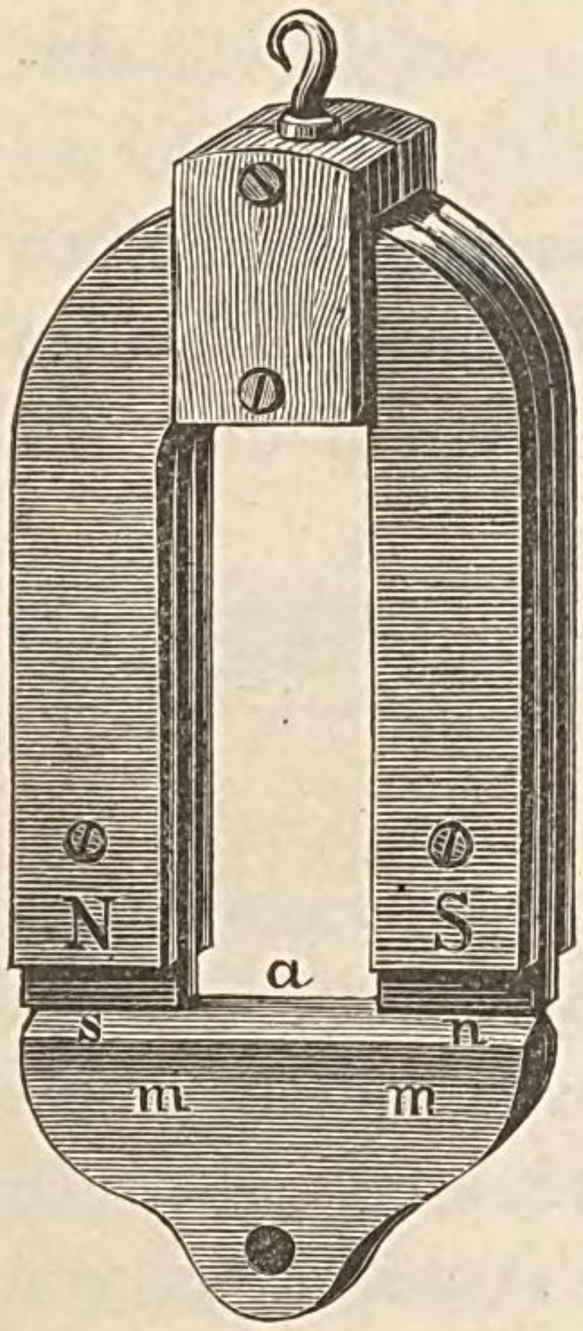
Tragkraft, Abhängigkeit derselben von der Gestalt des Magnets.

Hufeisenmagnet, magnetisches Magazin, Federmagnet, Armatur.

Wenn es sich darum handelt, eine kräftige Anziehung zu erhalten, wird man immer beide Pole zu Hilfe nehmen, den Stab also zusammenbiegen, wodurch die unter dem

Namen Hufeisenmagnet bekannte Form entsteht. Meist genügt jedoch ein solcher Magnet noch nicht, und legt man deshalb mehrere mit gleichen Polen aufeinander und verbindet sie durch Metallbügel oder Schrauben (magnetisches Magazin); dabei wird der mittlere Magnet länger gewählt, um an denselben den Anker oder die Armatur anlegen zu können, der man zweckmässig die in der Fig. 40 angegebene Gestalt giebt.

Fig. 40.



Um eine möglichst vollkommene Annäherung von Anker und Magnet zu erzielen, macht man die Berührungsfläche recht schmal, 3 bis 4 Mm. breit.

Die Tragkraft übertrifft das Doppelte der Stärke der einzelnen Pole deshalb, weil, wenn der Anker nicht zu klein ist, eine günstige Influenzwirkung an demselben stattfindet, derselbe selbst ein Magnet mit zwei kräftigen Polen wird.

Dieser Umstand ist auch die Ursache, weshalb der angelegte Anker schützend, ja kräftigend auf den Magnetismus des Hufeisens wirkt, sobald man den Anker nach und nach beschwert.

Wird das Hufeisen mit vorgelegtem Anker magnetisirt, so ist es viel stärker als sonst, das Abreissen des Ankers vermindert jedoch die Kraft. Der Anker soll daher immer nur seitlich abgeschoben werden.

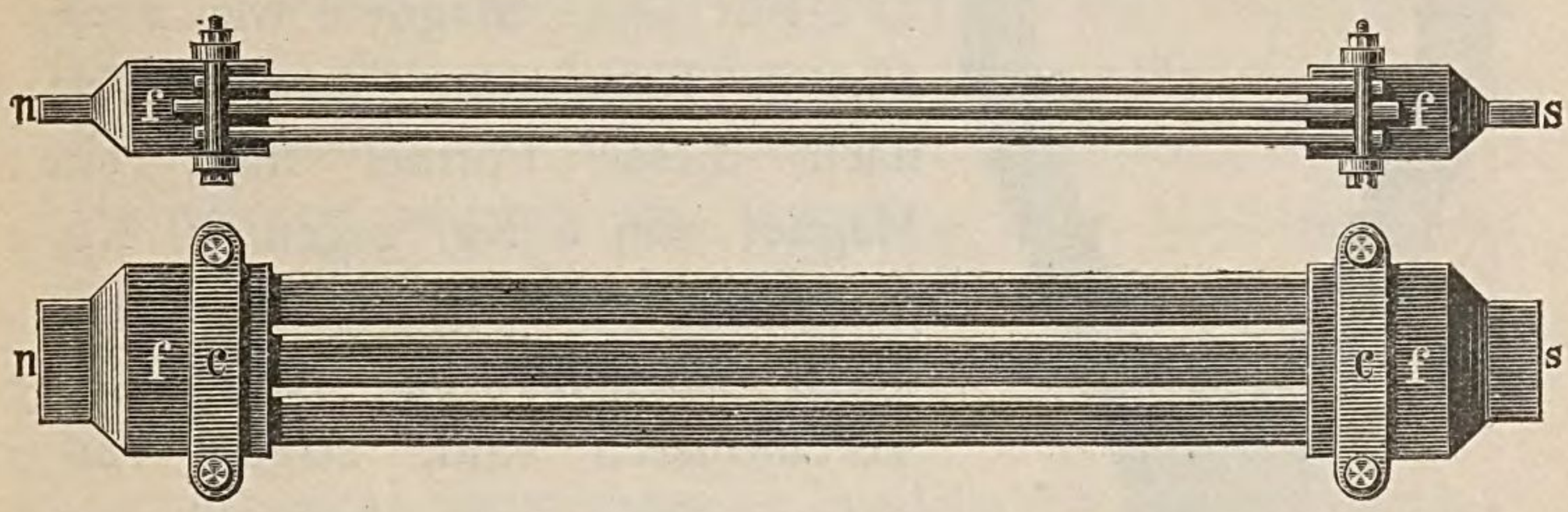
Ein ähnliches Verhältniss kann man auch bei Stahlstäben herstellen, wenn man zwei so nebeneinander legt,

dass nach derselben Seite zwei verschiedene Pole kommen, und dann diese auf beiden Seiten durch Anker verbindet.

Auch mit Stäben lassen sich magnetische Magazine herstellen, wenn man dieselben in Eisenschuhen fasst, wie dies Coulomb that, wovon Fig. 41 eine Andeutung giebt.

Je dünner die Lamellen sind, desto vollkommener lässt sich ein Maximum der Sättigung erreichen. Dies benutzte Jamin zur Zusammenstellung seines Feder- oder Blättermagnets, der aus magnetisch voneinander isolirten

Fig. 41.



Stahlfedern besteht, deren Enden an Eisenklötze, welche die Pole bilden, angepresst sind.

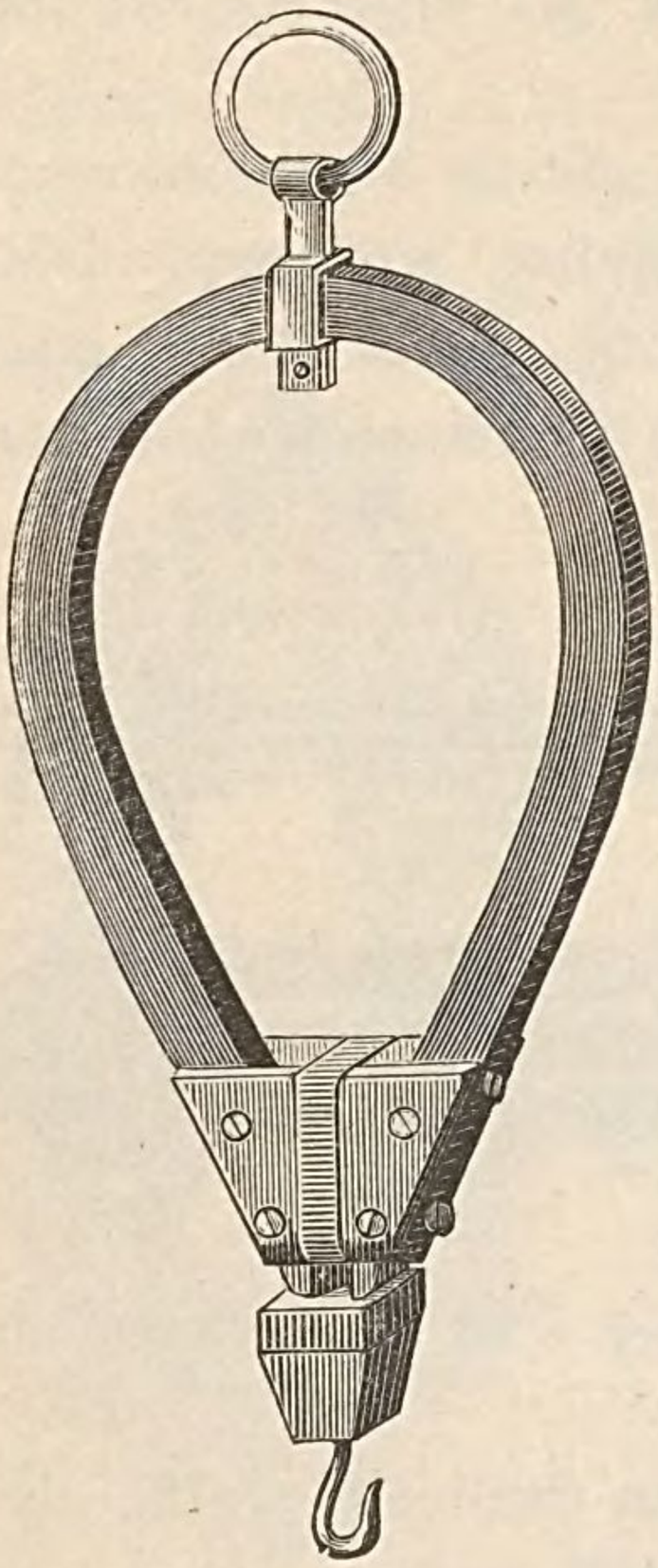
Diese Magnete, sowie nach der Breitseite in Kreisform gebogene Stahlbarren (Fig. 42) werden häufig zu kleinen magneto-elektrischen Maschinen verwendet.

Von derartig hergestellten Magneten wird behauptet, dass sie deshalb kräftiger wirken, weil keine Ungleichförmigkeit in der Vertheilung der Stahlmassen in denselben stattfindet.

Versuche, welche Holtz anstellte, ergaben, dass hohle Stahlmagnete 1·6mal so stark sind, als entsprechende Stahlstäbe, und glaubt, dass dies daher komme, weil der

Kern als verbindender Anker wirkt. Diese hohlen Magnete sollen auch die Kraft besser bewahren, so dass sich nach einem Jahre das Verhältniss zwischen einem massiven und einem hohlen Stab wie 1 : 2·5 bis 2·9 stellt.

Fig. 42.



Häcker hat nach zahlreichen Versuchen gefunden, dass die Tragkraft bei Hufeisenmagneten

$$= a \sqrt[3]{P^2}$$

sei, in welcher Formel P das Magnetgewicht und a einen constanten Factor bedeutet.

Für seine Magnete war $a =$ 10, in Kilogramm ausgedrückt; nach dieser Formel trägt ein Magnet von 5 Kg. gegen 30 Kg.

Wie unzuverlässig übrigens derlei Formeln bei veränderten Verhältnissen sind, zeigen Versuche, die mit holländischen Magneten (von van Wetteren) angestellt wurden, die 61 Kg. trugen, für die also $a = 20$ sein würde.

Wir haben schon erwähnt, dass die Tragkraft durch das Losreissen des Ankers Schaden leidet, in gleichem Sinne wirken Erschütterungen und Erhöhungen der Temperatur, Ausglühen beseitigt den Magnetismus gänzlich.

Magnetnadeln.

Wird ein permanenter Magnet beweglich aufgehängt, so stellt er sich immer in die Ebene des magnetischen Meridians ein, d. h. sein Südpol wird von dem Südpol des Erdmagnets angezogen (eigentlich von dem Nordpol; es herrscht eben die Gewohnheit, bei der Magnetnadel nicht Rücksicht darauf zu nehmen, dass sich nur die entgegengesetzten Pole anziehen, deshalb wird jener Pol der Erde, nach welchem der Nordpol der Nadel zeigt, ebenfalls Nordpol genannt, während doch im einen oder anderen Falle die entgegengesetzte Bezeichnung hätte gewählt werden müssen). Wäre die Nadel ganz frei beweglich, so würde sie sich gleichzeitig gegen die Horizontale neigen: dies Bestreben wird aber theilweise durch ungleiches Gewicht der beiden Arme und durch die Reibung an der Spitze, auf welcher sie ruht, aufgehoben.

Da die Untersuchungen, welche Coulomb anstellte, ergaben, dass bei gleicher Masse dünne und schmale Stahlstäbe das grösste Moment aufweisen, so darf wohl in dieser Beziehung angenommen werden, dass die rhombische Form der Nadeln am geeignetsten ist, wozu noch kommt, dass ihr Trägheitsmoment kleiner, als das der prismatischen ist.

Verschiedene Bestrebungen werden gemacht, zuverlässig die Verbindungslinie der beiden Punkte der grössten Kraftwirkung (Pole) in die Mittelebene der Nadel zu bringen, als auch der Nadel bei Messinstrumenten eine solche Form zu geben, dass ihr magnetisches Moment möglichst wenig oder geringe Aenderungen erleidet

und möglichst stark gemacht werden kann. Deshalb sind auch geschlossene Formen, wie z. B. Ringe, in Anwendung gekommen.

Elektromagnete.

Eine Vorichtung, welche aus einem mit Leitungsdrähten umwundenen Eisenstück besteht, heisst ein Elektromagnet.

Die erste Zusammenstellung dieser Art verdanken wir Sturgeon, der dazu einen hufeisenförmig gebogenen runden Eisenstab benutzte.

Wir wollen nun versuchen, in Nachfolgendem darauf hinzuweisen, was bei der Anfertigung eines Elektromagnets zu beobachten ist, damit das

M = dem magnetischen Moment und

A = der Anziehungskraft ein Maximum werde, und dabei ausser älteren Arbeiten vorzüglich jene Gleichungen berücksichtigen, welche Du Moncel in Beziehung auf diese Frage aufgestellt hat.[1])

Nach Allem, was wir bisher erfahren haben, üben drei Hauptfactoren den grössten Einfluss aus, das sind:

J die Stromstärke, welche bestimmt ist durch:

E der elektromotorischen Kraft der Stromquelle,

W den Widerstand im äusseren Stromkreis, jenen der Stromquelle mit einbegriffen; von Einfluss auf W, A sind ferner:

Z = der Anzahl der Umwindungen, die abhängen von:

D = Dicke der magnetisirenden Spiralen,

---

[1]) Siehe La lumière électrique, Bd. III, S. 305.

D_k = Dicke des Kernes oder Weite der Höhlung der Spule,
L = Gesammtlänge der beiden Spiralen (Spulen) oder der beiden Magnetschenkel,
d = Durchmesser des Drahtes sammt Isolirung,
l = Länge des Drahtes (Widerstand).

Nach Dub, Jacobi, Lenz und Müller ist das magnetische Moment gleich der Stromstärke (J), welche im Leiter vorhanden ist, mal der Anzahl der Umwindungen Z, also

$$M = \frac{E}{W + l} \cdot Z.$$

Die Anziehungskraft ist dagegen gleich dem Quadrate des magnetischen Momentes, also

$$A = M^2 = \frac{E^2}{(W + l)^2} Z^2.$$

Z können wir aus D, L und d ermitteln, denn die Zahl der Drahtwindungen in jeder Lage ist gegeben durch

$$\frac{L}{d}.$$

Die Zahl der Lagen dagegen durch

$$\frac{D}{d}.$$

Die Zahl der Windungen ist daher

$$Z = \frac{L}{d} \cdot \frac{D}{d} = \frac{L D}{d^2}.$$

Jede Umwindung am Kern hat eine Länge, die sich ergiebt aus dessen Durchmesser D_k und dem Drahtdurchmesser d, sie ist gleich

$$2 \pi \frac{D_k + d}{2} = \pi (D_k + d).$$

Jede Umwindung in der obersten Lage ist gleich

$$\pi\,(D_k + 2\,D - d).$$

Es hat somit der Draht in beiden Lagen eine Länge von

$$\frac{L}{d} \cdot \pi\,(D_k + d)$$

und

$$\frac{L}{d}\ \pi\,(D_k + 2\,D - d).$$

Die zwischen der innersten und äussersten Windung liegenden Lagen sind leicht zu berechnen, da sie die Zwischenglieder einer arithmetischen Progression bilden, deren Anzahl durch $\frac{D}{d}$ gegeben ist.

Danach ist l die Gesammtlänge des Drahtes.

$$l = \frac{\frac{L}{d}\,\pi\,(D_k + d) + \frac{L}{d}\,\pi\,(D_k + 2\,D - d)}{2}\,\frac{D}{d}$$

$$= \frac{2\pi\,L}{d}\,\frac{(D_k + D)}{2}\,\frac{D}{d}$$

$$l = \pi\,\frac{D\,L\,(D_k + D)}{d^2}.$$

Wie wir sehen, können wir die Länge und die Zahl der auf einen Magnetkern aufgewundenen Drahtlagen sofort berechnen, wenn D, L, D_k und d gegeben sind.

Setzen wir für l und Z die gefundenen Werthe in die Formel für

$$M = \frac{E}{(W + l)}\,Z,$$

so erhalten wir:

$$M = \frac{E}{W + \pi \frac{D\,L\,(D_k + D)}{d^2}} \frac{L\,D}{d^2}$$

$$M = \frac{E\,.\,D\,.\,L}{W\,d^2 + \pi\,D\,.\,L\,.\,(D_k + D)}$$

und in Folge dessen

$$A = \frac{E^2\,D^2\,L^2}{[W\,d^2 + \pi\,D\,L\,(D_k + D)]^2}.$$

Wie aus der Gleichung ersichtlich ist, hängt die Erreichung eines grössten Werthes sowohl ab von:

W, dem Widerstande der Drahtspirale;

D und L, d. i. den Dimensionen des Elektromagnets;

D und D_k, d. i. dem Verhältniss zwischen dem Durchmesser der Spirale und dem Durchmesser des Kernes.

Für die zweckmässige Herstellung eines Elektromagnets ist es ohne Zweifel von Werth, eine gewisse Beziehung des Widerstandes der Spirale zum äusseren Widerstande in Rechnung ziehen zu können. Zur Erreichung dessen ist es nothwendig, den Durchmesser des Drahtes ohne Umhüllung kennen zu lernen.

Zu diesem Behufe multiplicirt man den Durchmesser feiner Drähte sammt Umhüllung mit der Zahl 1·6, mit 1·4 für mittlere, oder im Allgemeinen mit einem Coëfficienten $\frac{1}{f}$.

Drückt q das Verhältniss aus, in welchem W zu l steht, so haben wir für W dessen reducirten Werth, den Ausdruck $\frac{q\,W\,d^2}{f^2}$, in dem zugleich die Constante in-

begriffen ist, welche sich auf den Querschnitt bezieht und 0·000016 Meter beträgt.

Bei einer Aenderung der Drahtstärke $\frac{d}{f}$ wird jedoch bei einer Spule von bestimmtem Durchmesser nicht blos der Widerstand, sondern auch die Drahtlänge in Mitleidenschaft gezogen, und zwar ändern sich beide in gleichem Sinne; wird der Draht dicker, so wird er zugleich auch kürzer, weshalb H nicht einfach dem d^2 umgekehrt proportional ist, sondern der vierten Potenz von d. Die Formeln für M und A erleiden daher folgende Umgestaltungen:

$$M = \frac{E\ D\ L\ f^2\ d^2}{q\ W d^4 + f^2\ \pi\ (D_k + D)\ D\ L}$$

$$A = \frac{E^2\ D^2\ L^2\ f^4\ d^4}{[q\ W d^4 + f^2\ \pi\ (D_k + D)\ D\ L]^2}.$$

Einfluss des Widerstandes der Spirale.

Haben wir uns vorgenommen, einen Elektromagnet von bestimmten Ausmassen herzustellen, und wollen wir die Drahtstärke so wählen, dass wir für M sowohl als auch für A bei einem bestimmten äusseren Widerstand die grössten Werthe erhalten, oder wollen wir die Ausmasse einer Spule berechnen, wenn uns der äussere Widerstand und eine bestimmte Drahtgattung gegeben ist, so haben wir in ersterem Falle das d, in dem anderen Falle das D zweckmässig zu wählen.

Wir wissen, dass ein Strom dann am besten ausgenutzt ist, wenn der Widerstand im Leiter gleich dem Widerstande im übrigen Stromkreis ist, wenn also in

unserem Falle $W = l$ wird, was heisst, wenn wir die Verhältnisse so wählen, dass die Gleichung besteht

$$\pi \frac{L}{d^2} (D_k + D) D = q \frac{W d^2}{f^2}.$$

Es wird also jene Spirale unseren Zwecken am besten entsprechen, deren Widerstand sich zum Widerstand W verhält wie die Dicke des unübersponnenen Drahtes zur Dicke des Drahtes mit Isolirungsumhüllung.

Haben wir mehrere Spiralen mit gleich dicken Drähten in Bezug auf ihre Wirksamkeit zu beurtheilen, so können wir nach Obigem sagen:

Diejenige wird die geeignetste sein, welche einen Widerstand besitzt, der sich zum Widerstande des äusseren Stromkreises so verhält, wie die Dicke der Spirale mehr der Kerndicke $(D + D_k)$ zur Dicke der Spirale allein (D)

$$X : W = D + D_k : D.$$

Einfluss des Verhältnisses zwischen D und D_k, d. h. der Dicke der Spule zur Dicke des Kernes.

Bei einer Verlängerung der Drahtwindungen, wie sie der Vergrösserung der Kerndicke entspricht, die angestrebt wird, weil dadurch die Kraft des Elektromagnets wächst, nimmt auch der Widerstand zu, was natürlich abträglich ist. Es fragt sich nun: Wann wird das Maximum erreicht, d. h. der Punkt, von welchem ab eine Vergrösserung der Kerndicke schädlich wirkt?

Zur Erforschung dessen nehmen wir die Formel zu Hilfe, die Müller bezüglich des Anwachsens der Kraft bei Zunahme der Kerndicke aufgestellt hat, nach welcher

der erzeugte Magnetismus der Quadratwurzel aus der Dicke der Kerne proportional ist.

$$M = \frac{\sqrt{D_k} \,.\, d \,.\, E}{\lambda \pi \, L \, D \, (D + D_k)}.$$

Demnach ist

$$A = \frac{D_k \,.\, d^2 \,.\, E^2}{[\lambda \pi \, L \, D \, (D + D_k)]^2}.$$

Unter der Annahme, dass λ ein Factor ist, mit welchem man L multipliciren muss, um das Maximum im gegebenen Stromkreise zu erhalten, und dass ferner D unveränderlich sei, in Folge dessen auch die Zahl der Windungen, werden wir, in Bezug auf D_k, das Maximum suchend, finden, dass $D = D_k$ sein muss, d. h. der Durchmesser des Eisenkernes soll gleich der Dicke der Windungen sein; dies einmal angenommen, lassen sich leicht weitere Folgerungen ziehen.

Für die Länge L des Eisenkernes, die uns gegeben ist in $\frac{2 \pi \, L \, D_k{}^2}{d^2}$, können wir $m \, D_k$ setzen, d. h. dieselbe durch ein Vielfaches ihrer Dicke ausdrücken. Da sich durch Versuche $m = 12$ ergeben hat, geht $\frac{2 \pi \, D_k{}^3 \, m}{d^2}$ über in $\frac{75{\cdot}4 \, D_k{}^3}{d^2}$ und Z wird gleich $\frac{12 \, D_k{}^2}{d^2}$.

In diesen Formeln kommen als unbekannt nur mehr die Kern- und die Drahtdicke, nämlich D_k und d, vor. Wir haben $L = W$, indem wir uns W auch z. B. in Metern ausgedrückt denken, wie ja der Widerstand des Telegraphendrahtes auch nur in Längenmassen angegeben wird; ferner ist $D_k = D$ und $L = m \, D_k$, wenn A und M ihr Maximum erreichen; damit wir nun d finden können, müssen wir auch diese Grösse in Beziehungen zu W bringen.

Wir fanden bereits $l = \frac{2\pi D_k{}^3 m}{d^2}$, ferner ist uns das Verhältniss, in welchem W zu l steht, gegeben durch

$$\frac{qWd^2}{f^2}.$$

Da nun $L = W$ ist, haben wir $\frac{qWd^2}{f^2} = \frac{2\pi D_k{}^3 m}{d^2}$,

hieraus ergiebt sich $d^4 = f^2 \frac{2\pi D_k{}^3 m}{qW}$.

Weil nun aber $\frac{2\pi m}{q}$ eine Constante ist, die der Zahl 0·00020106 entspricht, erhalten wir für

$$d = \sqrt{f\sqrt{\frac{D_k{}^3}{W}\,0{\cdot}00020106}}.$$

Einfluss der Länge des Eisenkernes auf die Erreichung des grössten Werthes von *M* und *A*.

Drücken wir die Länge L als ein Vielfaches des Durchmessers D_k aus, indem wir, wie oben, $L = m D_k$ setzen, so ist, weil nach dem Gesetze von Müller A proportional der Quadratwurzel aus dem Durchmesser, also die Anziehung proportional $D_k . \sqrt{m D_k} = m D_k^{\frac{3}{2}}$, unter Berücksichtigung des bisher gefundenen

$$A = \frac{E^2 m^2 D_k{}^4 D_k^{\frac{3}{2}}}{(Wd^2 + 2\pi m D_k{}^3)^2}.$$

W ist in dieser Formel, wie schon früher, als ausgedrückt betrachtet in einem Längenausmass des Drahtes der Spirale.

Aus dieser Formel geht hervor, wenn wir D_k als veränderlich annehmen, dass für ein Maximum $Wd^2 = \frac{2\pi m {D_k}^3}{11}$ sein muss, woraus wir erhalten:

$$= 11 W = \frac{2\pi m {D_k}^3}{d^2}.$$

In Worten ausgedrückt heisst dies:

Wir können die Ausmasse des Eisenkernes vergrössern so lange, bis der Widerstand seiner günstigsten Bewicklung den Widerstand des äusseren Stromkreises elfmal übertrifft.

Aber auch für m können wir jetzt den Werth entnehmen, denn aus obiger Formel geht hervor, dass:

$$m = 11 \frac{W d^2}{2\pi {D_k}^3}.$$

Unter der Voraussetzung nämlich, dass wir den Widerstand der Spirale gleich dem W machen, was ja, wie wir wissen, am günstigsten ist, also $W = \frac{2\pi {D_k}^3}{d^2}$ wird, erhalten wir $m = 11$, d. h. dass wir gut thun, den Eisenkern elfmal so lang zu machen, als er dick ist; gewöhnlich aber wird das Verhältniss von der Länge zur Dicke $= 12 : 1$ genommen, weil nicht alle Voraussetzungen zutreffen, z. B. Kern und innerer Spulendurchmesser nicht immer gleich gross, die Pole mit Ansätzen versehen und die Kerne oft auf Platten aufgesetzt, statt einfach U-förmig zusammengebogen sind.

Verschiedene Anordnungen der Draht- und Eisenmassen bei Elektromagneten.

Da es sich bei Elektromagneten meist darum handelt, einen Anker möglichst kräftig anzuziehen, stellt man den

ersteren hufeisenförmig her oder setzt zwei gerade Elektromagnete auf eine eiserne Grundplatte. Fig. 43 zeigt die Art der Bewindung, die wohl auch zuweilen sofort über den Kern geschieht, meist aber wird eine Holzspule mit möglichst dünner Röhre dazu benutzt, die Drahtlagen aufzunehmen, diese Spule wird dann aufgesteckt (Fig. 43).

Zuweilen findet auch eine konische Bewindung statt, wie Fig. 44 zeigt, um mit der geringsten[1]) Drahtmenge die stärkste Wirkung zu erzielen (Thomson).

Versuche von Du Moncel über die günstigste Länge der Magnetisirungsspirale und die Stelle, an welche sie

Fig. 43.

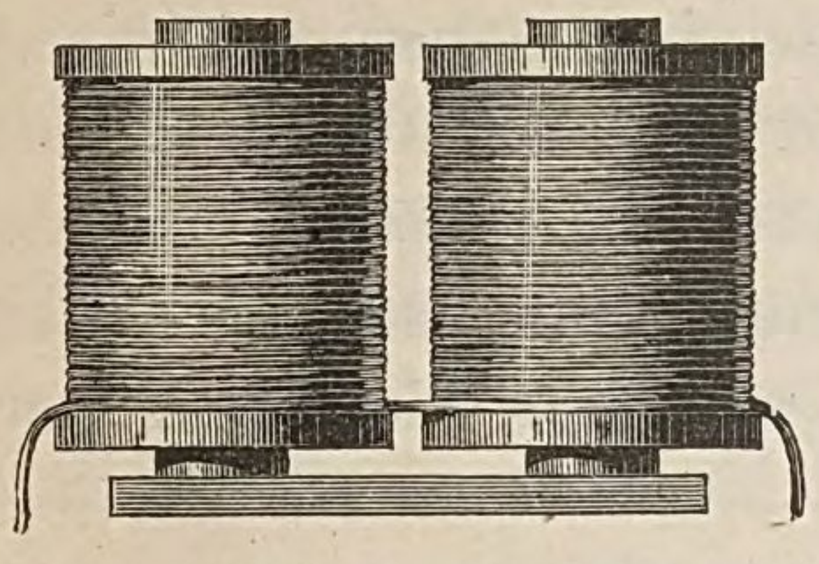
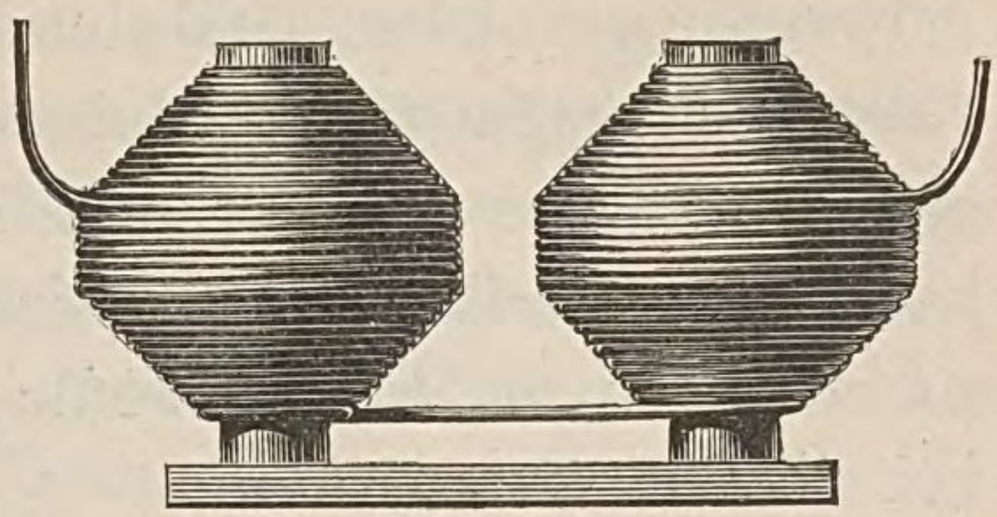


Fig. 44.



aufgeschoben werden soll, ergaben, dass dann die grösste Kraft erreicht wird, wenn der vom Draht bedeckte Kerntheil dreimal so viel Masse als das überstehende Ende enthält, und dass es ungünstig sei, den ganzen Kern mit Drahtwindungen zu umgeben.

Comacho benutzt als Kern eine Röhre, diese wird mit Draht bewunden, über welche abermals eine Eisenröhre, sodann wieder eine Drahtlage und so fort kommt.

---

[1]) Die Stromführung, also Schaltung der Drahtenden, der einzelnen Spulen bei den hufeisenförmigen Elektromagneten geschieht so, dass die beiden inneren oder äusseren Enden, vorausgesetzt die Spulen seien im gleichen Sinne, d. h. eine wie die andere bewunden, verbunden werden.

Zehn Bunsen-Elemente sollen einem solchen Magnet, dessen Spulen einen Durchmesser von 15 Cm. und eine Länge von 17 Cm. haben, eine solche Kraft verleihen, dass er auf 6 Mm. Entfernung 250 Kg., auf 1 Mm. 1000 Kg. anzuziehen im Stande ist, was ergiebt, dass ein derartiger Magnet vier- bis fünfmal stärker wäre, als ein Elektromagnet gewöhnlicher Art.

Handelt es sich darum, dass der Magnetismus des Elektromagnets nach Aufhebung des Stromschlusses schnell verschwindet, so werden statt Eisenstäben Eisendrahtbündel zur Herstellung der Kerne benutzt und die einzelnen Drähte voneinander magnetisch isolirt. Bei Anwendung solcher Drahtbündel ist zu berücksichtigen, dass das magnetische Moment bei Drahtbündeln von gleichen Ausmassen mit massiven Eisenstäben unter Anwendung derselben Magnetisirungsspirale nach den Untersuchungen von Munke, Joule und Dub kleiner ist, als bei diesen.

Gelegentlich des Elektromagnets von Comacho wollen wir die Versuche, welche Feilitzsch anstellte, erwähnen, welche ergaben, dass der Magnetismus in massiven und hohlen Eisenkernen von gleichem Durchmesser dann gleich gross wird, wenn in den Wandungen genug Eisenmasse zur Entwicklung des Magnetismus vorhanden ist; bei dünnen Röhren ist bald ein Maximum erreicht, ein eisernes Verschlussstück ändert das magnetische Moment nicht.

Versuche mit ineinandergeschobenen Röhren zeigten, dass die Tiefe, in welcher das Maximum erreicht wird, den Stromintensitäten proportional sei, aus verschiedenen Gründen kann man aber annehmen, dass dieses Gesetz nur annähernd richtig sei.

Versucht man einen Eisencylinder durch eine eingelegte Spirale zu magnetisiren, so findet man, dass nur ein schwacher Magnetismus erzeugt wird.

Zuweilen werden Elektromagnete auch dadurch hergestelllt, dass um einen dünnen Eisenstab Eisenblech gewunden wird, aber so, dass sich die Windungen nicht berühren. Mit dem äusseren Ende wird sodann der Magnetisirungsdraht verbunden, der um den Cylinder herumgewunden wird.

Der Strom, der in den mittleren Eisenstab eingeleitet wird, durchläuft somit den Eisenblechstreifen, wodurch gewiss eine Anzahl von Windungen erspart wird.

Diese Anordnung, die von Rocci herrührt, bezweckt, den mittleren Eisenstab am stärksten magnetisch zu machen, was auch geschieht, weil die einzelnen Spiralgänge die nach innen gelegenen induciren.

Häufig auch wird zu einem ähnlichen Zwecke der Kupferdraht durch einen Eisendraht ersetzt.

Diese Anordnung soll jedoch nach Du Moncel nicht günstig wirken, was sich damit erklärt, dass ja die Eisenumhüllung so wirkt wie ein Anker, der die beiden Pole des inneren Stabes verbindet.

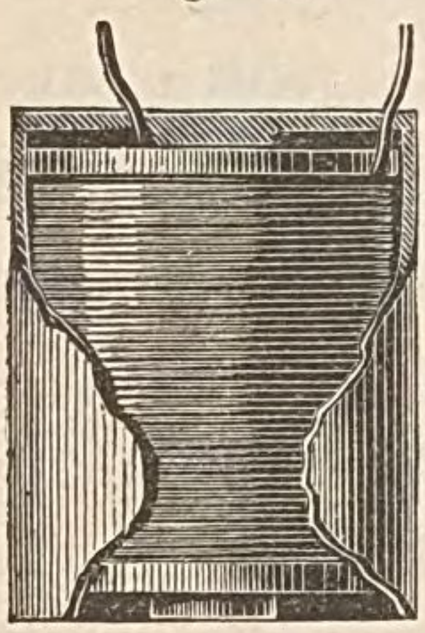
Eine besondere Form der Hufeisenmagnete sind die sogenannten Glockenmagnete, bei welchen die Drahtwindungen, die den Eisenkern umgeben, von einem Eisencylinder eingehüllt sind, auf den sie entgegengesetzt wie auf den Kern magnetisirend wirken, der mit der eisernen Grundplatte verbunden ist. Durch diese Anordnung pflanzt sich der Südpol des Stabes auf das entgegengesetzte Ende des Cylinders fort, kommt also in eine Ebene mit dem Nordpol des Kernes zu liegen. Ein vorgelegter Anker wird daher mit einer viel grösseren

Kraft (oft sechzigfach) angezogen. Diese Form der Elektromagnete rührt von Romershausen her (Fig. 45).

Joule erhielt gleichfalls einen sehr kräftigen Elektromagnet, indem er einen eisernen Halbcylinder der Länge nach parallel zur Cylinderaxe mit Drähten bewand, so dass die Schnitte der Cylinderwandung die beiden Polflächen bildeten, und wurden zwei solche Halbcylinder mit den entgegengesetzten Polen aufeinandergelegt.

Bei Elektromotoren (Griscom z. B.) wird zuweilen von Cylinder-Elektromagneten Gebrauch gemacht, die entstehen, wenn man sich zwei der vorbeschriebenen Elektromagnete mit den gleichen Polen aufeinandergelegt denkt.

Fig. 45.



Wird ein Eisenstab mit Einschnitten versehen und in diese ein Kupferdraht so eingelegt, dass er die entstandenen Zähne im Zickzack umwindet, so erhält man nebeneinanderliegende entgegengesetzte Pole, so dass dann das Eisenstück als aus vielen nebeneinanderliegenden Hufeisenmagneten zusammengesetzt angesehen werden kann; diese Form wurde von Roberts angegeben.

Ist der Kern des Elektromagnets sehr kurz und dünn und sind die Enden scheibenförmig verbreitert, sodann der Draht in die Rinne eingelegt, so erhält man sogenannte Scheiben- oder Radmagnete, die durch Weber in Anwendung gekommen sind.

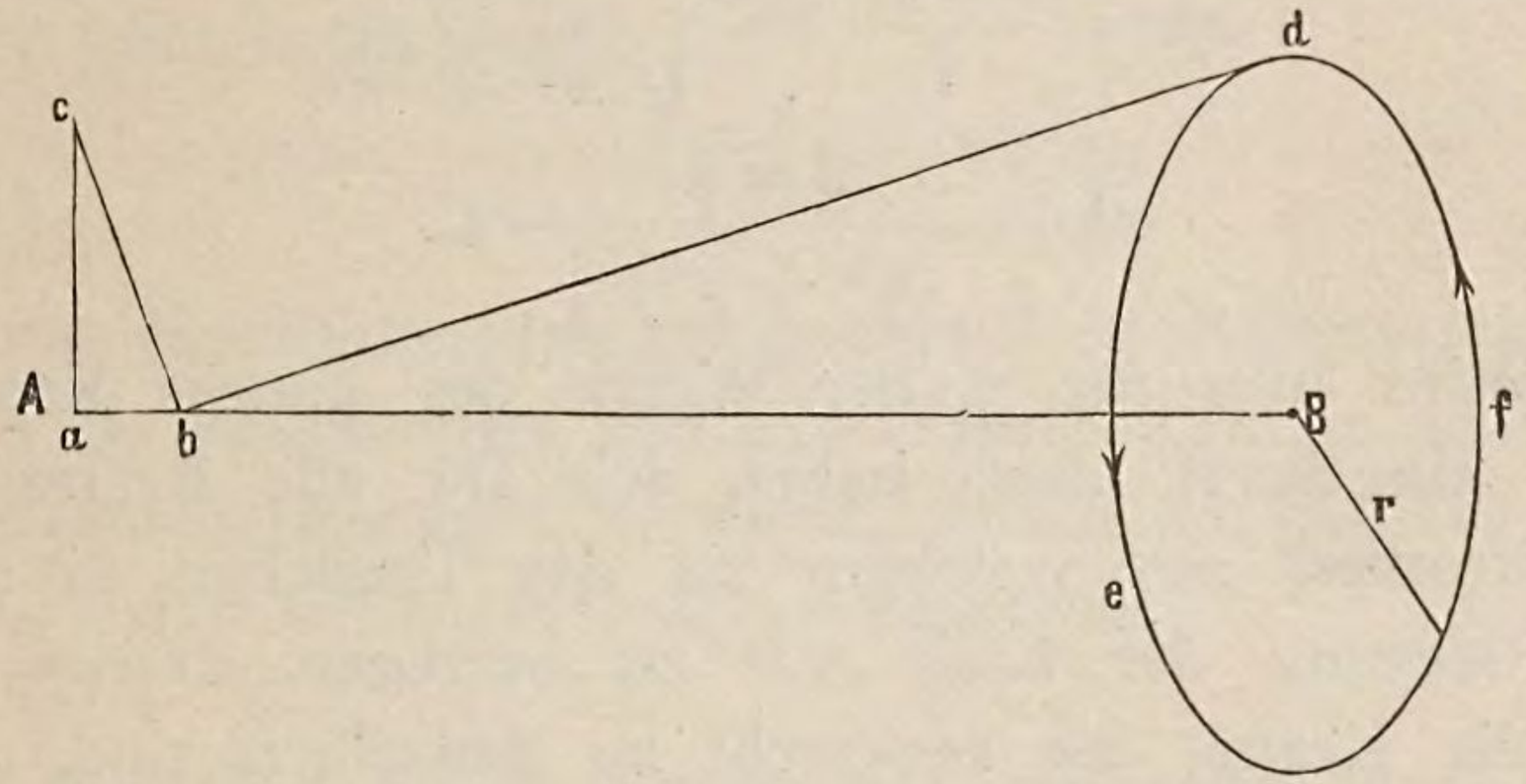
Als Anker wird bei ihnen ein Stab, der die Scheiben verbindet, angewendet.

Wirkung eines stromdurchflossenen Leiters auf einen Magnet.

Magnetische Wirkung eines Kreisstromes auf ein magnetisches Theilchen.

Stellt *d e f* einen kreisförmigen Strom vor, dessen Bahn in der Ebene des magnetischen Meridians liegt, und *A B* eine gegen seinen Mittelpunkt gerichtete Gerade, welche auf dieser Ebene senkrecht steht, so übt derselbe auf ein magnetisches Theilchen in dieser Linie, das etwa

Fig. 46.



bei *b* liegt, eine Wirkung aus, die, sobald das Theilchen nordmagnetisch ist, dahin geht, selbes nach der Richtung *b c* zu bewegen, wenn er selbst in der Richtung der Pfeile kreist (Fig. 46).

Ist *J* die Stärke des Stromes, *m* die Intensität des Magnetismus im Theilchen *b*, φ die Länge des Bogenelementes bei *d*, *l* die Entfernung *b d* und *C* eine Constante, die wir bald näher kennen lernen werden, so ergiebt sich die Grösse der Kraft gleich

$$\frac{J\,m\,\varphi}{l^2}\,C.$$

Nehmen wir ferner die Entfernung $B\,b = x$ und den Halbmesser des Kreises $= r$, so haben wir:

$$l^2 = x^2 + r^2,$$

was in obige Formel gesetzt, diese wie folgt umgestaltet:

$$\frac{J\,m\,\varphi}{x^2 + r^2} \cdot C.$$

Bestimmen wir den Werth, welcher sich für die Componente $a\,b$ ergiebt, indem wir $b\,c$ in zwei solche, senkrecht auf und in der Richtung der Linie $A\,B$, zerlegen, so haben wir:

$$b\,c : a\,b = b\,d : d\,B = l : r$$

$$ab = \frac{b\,c\,.\,r}{l} = \frac{b\,c\,.\,r}{\sqrt{x^2 + r^2}}$$

$$ab = \frac{J\,m\,\varphi\,r}{(x^2 + r^2)^{\frac{3}{2}}}\,C.$$

Wird nun für φ der Werth des ganzes Kreises, $2\,\pi\,r$, eingesetzt, dann haben wir für alle Kräfte des Kreisstromes, mit welchem sie das Theilchen in b in der Richtung der Linie $A\,B$ zu bewegen streben, da sich die Kräfte, die senkrecht zu denselben sind, aufheben,

$$\frac{2\,\pi\,r^2\,m\,J}{(x^2 + r^2)^{\frac{3}{2}}}\,C,$$

d. h. in Worten ausgedrückt:

Die magnetische Wirkung eines Kreisstromes ist dem Quadrate seines Halbmessers oder dem Flächeninhalt, den er begrenzt, proportional, sie verhält sich in Bezug auf ein magnetisches Theilchen, welches in seiner Axe liegt, umgekehrt proportional der dritten Potenz der Entfernung $\sqrt{(x^2 + r^2)}$.

Dieses Theilchen von dem Umfang des Kreisstromes unterscheidet sich also nicht von der Wirkung eines Magnets.

Nehmen wir an, dass die Intensität des im magnetischen Theilchen vorhandenen Magnetismus gleich Eins ist, also $m = 1$, so erhalten wir für die Fernwirkung des Kreisstromes

$$\frac{2\pi r^2 J}{(x^2 + r^2)^{\frac{3}{2}}} C.$$

Bringen wir das Theilchen in den Mittelpunkt des Kreisstromes, wodurch $x = o$ wird, so geht die Gleichung weiter über in folgende

$$\frac{2\pi J}{r} C,$$

die uns die Stärke der magnetischen Fernwirkung eines Kreisstromes auf ein Theilchen in seinem Mittelpunkte angiebt, wenn im selben der Magnetismus die Intensität Eins besitzt.

Wirkung eines stromdurchflossenen Leiters auf Magnet- und Eisenstäbe.

Es ist uns bereits bekannt, dass ein stromdurchflossener Leiter auf Magnete eine anziehende oder abstossende Wirkung ausübt, je nachdem die Richtung des Stromes jener der Ampère'schen Ströme parallel oder entgegengesetzt gerichtet ist. Wenden wir eine Spirale an, so wird die Kraft, mit welcher dieser Einfluss ausgeübt wird, stärker, da mehr Stromtheilchen zur Wirkung gelangen.

Denken wir uns daher einen Magnet an einem Faden vor einer solchen Spirale aufgehängt (Fig. 47), so wird er

nicht blos gedreht werden, bis die Ebenen, in welchen die Ampère'schen Ströme kreisen, mit den Spiralebenen parallel stehen, sondern er wird sogar, wenn die Verhältnisse so liegen, wie sie in der Fig. 48 angedeutet sind, zur Spirale hin bewegt werden. Fragen wir uns, wie weit diese Anziehung geht, so werden wir bald zur Einsicht gelangen, dass eine Fortbewegung so lange erfolgen wird, bis die Mittelpunkte der Axen beider Systeme in eine Ebene fallen, die senkrecht auf denselben steht (Fig. 49).

Fig. 47.

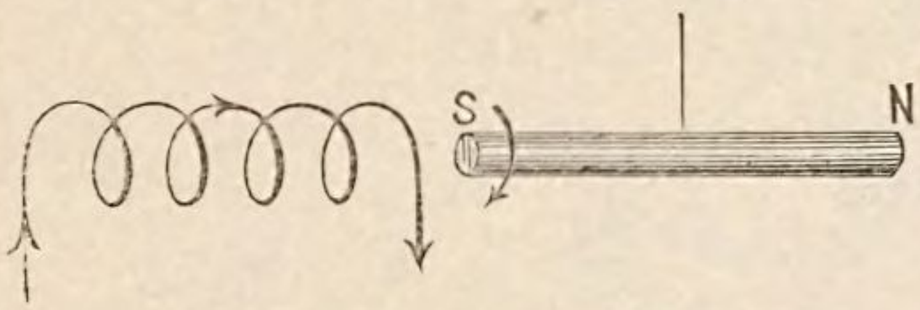


Fig. 48.

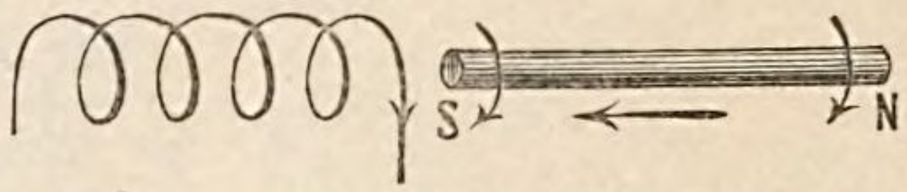


Fig. 49.

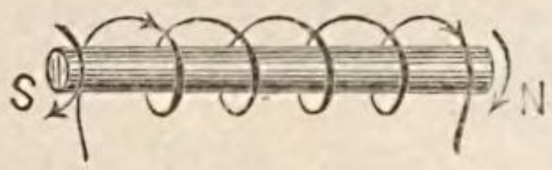
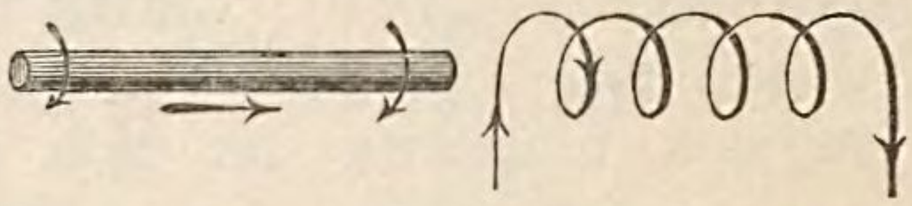


Fig. 50.



Würden wir die Bewegung künstlich weiter fortsetzen, so müssen wir, weil die Ebenen, in welchen die gleichgerichteten Ströme kreisen, voneinander entfernt werden, eine grosse Kraft aufwenden; dies wird uns besonders dann ganz klar, wenn wir uns den Magnet nach der linken Seite der Spirale versetzt denken (Fig. 50). Wir sehen, dass auch jetzt wieder das Bestreben herrschen muss, den Magnet in die Spirale hineinzuziehen. Stellen wir derselben Spirale einen Magnet so gegenüber, dass dessen Nordpol derselben zunächst steht, so wird, wenn er frei aufgehängt ist, vorerst die Spirale selben

zu drehen versuchen, ist dies aber unmöglich, so erfolgt naturgemäss blos eine Abstossung (Fig. 51).

Nehmen wir endlich statt einem Magnetstab einen Stab aus weichem Eisen, so wird, wie uns bekannt, in demselben Magnetismus erweckt, der Stab wird also ein Magnetstab, und weil nun in demselben solche Ampère-sche Ströme erregt werden, welche parallel laufen mit dem Strom der Spirale, so erfolgt jedesmal eine Anziehung.

Es ist nun von Wichtigkeit, in Betracht zu ziehen, was geschieht, wenn der Stahlmagnet in die Spirale hineingezogen wird und was erfolgt, wenn sich der Eisenstab nähert.

Fig. 51.

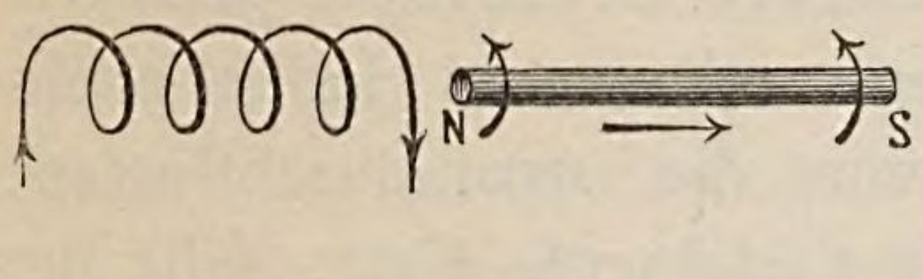
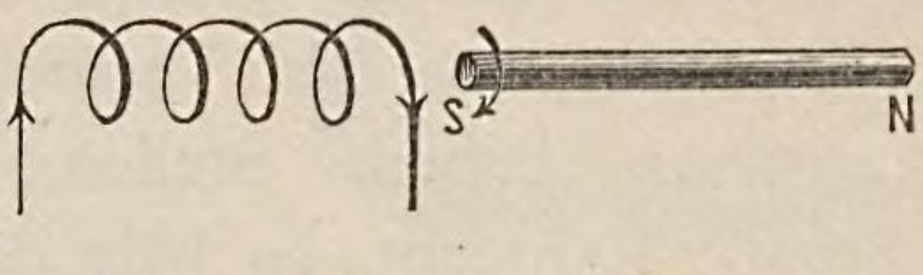


Fig. 52.



Wenn wir annehmen, dass im Stahlmagnet das Maximum des Magnetismus vorhanden ist, welchen er aufnehmen kann, so wird die Anziehung nur der Stärke des Stromes proportional sein können, welcher die Spirale durchfliesst; und ferner von der Zahl der Umwindungen abhängen, aus welchen dieselbe besteht.

Während der Magnet der Anziehung folgt, wird die Kraft derselben fortwährend wachsen, weil sich die Ebenen, in welchen gleichgerichtete Ströme kreisen, immer mehr nähern; es wird aber sodann ein Punkt erreicht werden müssen, in welchem die Kraft abzunehmen beginnt, und zwar ehe noch die Mittel der Spirale und des Magnets zusammenfallen, in welchem

Punkte sich schon Anziehung und Abstossung das Gleichgewicht halten.

Anders liegen die Verhältnisse bei der Verwendung eines Eisenstabes.

In diesem entstehen erst durch die Annäherung an die Spirale die Ampère'schen Ströme, und nimmt die Zahl derselben, wenn wir uns so ausdrücken dürfen, mit der Annäherung zu, da nicht so bald, wie bei dem Magnet, ein Maximum erreicht wird; zu gleicher Zeit wird aber die Entfernung verringert; es wirken mehr Spiralwindungen anziehend auf den Eisenstab, wodurch leicht erklärlich ist, dass bei einem Eisenstab die Kraft, mit welcher er in die Spirale hineingezogen wird, nicht blos wie bei dem Magnet der Stromstärke, sondern dem Quadrate derselben proportional ist, wie auch Versuche von Dub und Hankel nachgewiesen haben. Stellen wir die stromdurchflossene Spirale lothrecht, so hält die anziehende Kraft, falls der Strom stark genug ist, den Stab freischwebend fest.

Untersuchungen, welche A. v. Waltenhofen über diesen Gegenstand angestellt hat, haben ergeben, dass die Härte des Eisen- oder Stahlstabes einen wesentlichen Einfluss darauf habe, wie auch die Stärke des hierzu erforderlichen Stromes.

Der geringste Stromaufwand ist nöthig, wenn der Stab aus recht weichem Eisen besteht.

Weitere Untersuchungen des genannten Physikers haben ergeben, dass weite Eisenröhren mit verhältnissmässig dünner Wandung viel kräftiger angezogen werden, als gleich lange, aber volle Stäbe von gleichem Gewichte (die also dünner sind), so lange die Stromstärke eine gewisse Grenze nicht überschreitet.

Sind beide Stäbe an einer Wage im Gleichgewicht aufgehängt und befinden sich unter beiden ganz gleiche Drahtspiralen, die von demselben Strome durchflossen werden, so halten sich beide Kerne bei einer gewissen Stärke des Stromes das Gleichgewicht; nimmt der Strom zu, so wird der massive Kern in die Spirale hineingezogen, was davon herrühren dürfte, dass bei einem stärkeren Strome, wie wir an anderer Stelle schon erwähnt haben, die Magnetisirung mehr in die Tiefe eindringt, während die Eisenröhre bald das Maximum der Sättigung erreicht.

Denken wir uns einen hufeisenförmig gebogenen Stab genähert, so werden in dessen Schenkel ohne Zweifel gleichfalls Ampère'sche Ströme erregt, und zwar in dem durch die Fig. 53 angedeuteten Sinne; es wird also ebenfalls eine Anziehung stattfinden (Fig. 54).

Fig. 53.

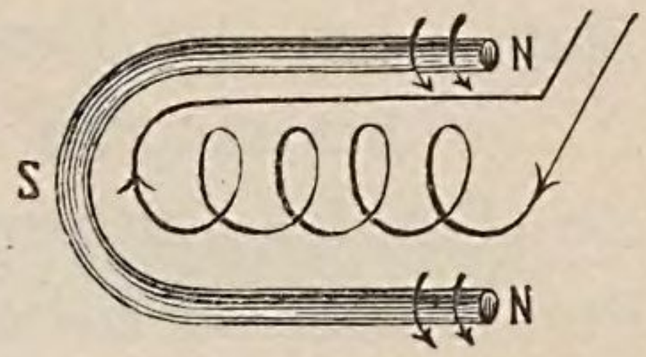


Fig. 54.

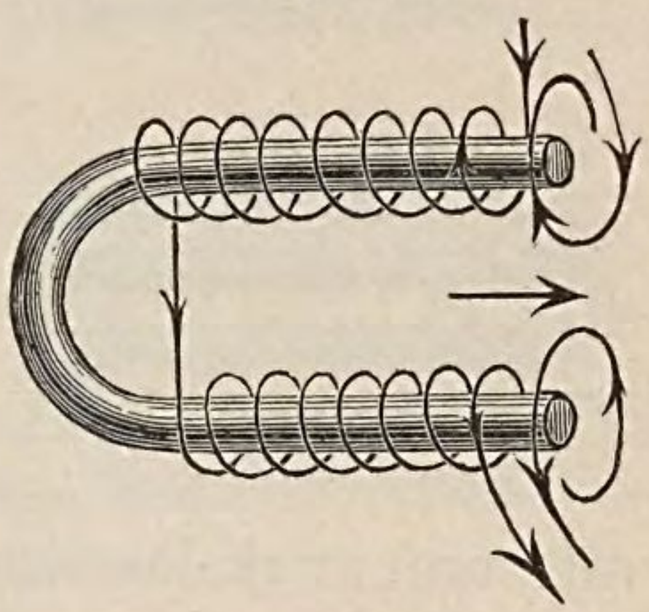
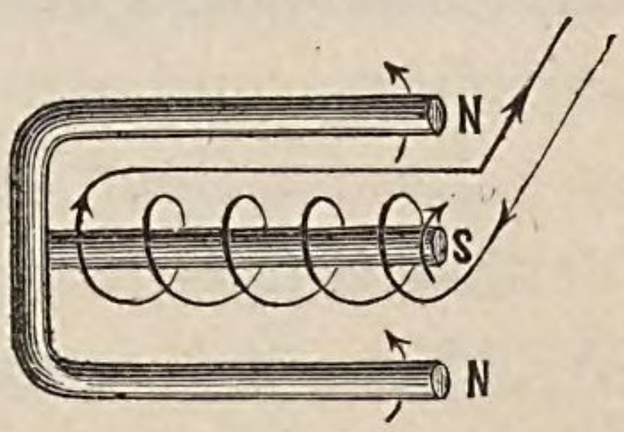


Fig. 55.

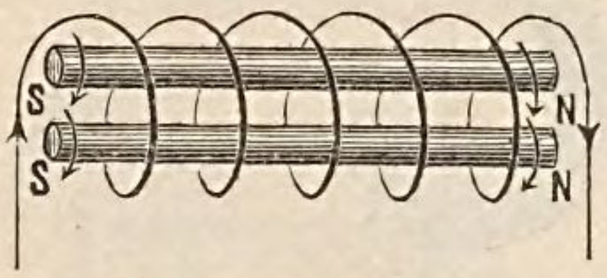


Ordnen wir mehrere solche Stäbe um die Spirale an, so wird das ganze System einer anziehenden Kraft ausgesetzt sein; es entsteht dann eine Röhre, welche auf einer Seite geschlossen ist und dort einen Südpol hat, der einer weiteren Anziehung hinderlich sein wird. Nun wissen wir aus der Fig. 55, dass ein Eisenstab unter denselben Verhältnissen an jenem Ende einen Nordpol erhalten würde. Setzen wir einen solchen Stab wirklich

in den Boden dieser Röhre ein (Fig. 55), so erhalten wir, da sich die beiden Pole aufheben, die anderen aber verstärken, eine Anziehung, die bedeutend kräftiger ist, als die Summe der beiden Anziehungskräfte von Stab und Röhre ergeben würde. Dub und Romershausen, von welchen die ersten Versuche mit derlei Systemen herrühren, fanden, dass die Kraft derselben jene des einfachen Stabes um das Dreifache übertreffe.

Führt man in eine Spirale zwei Stäbe nebeneinander ein (Fig. 56), so stossen sich beide ab, weil ja die gleichen Pole derselben nebeneinander zu liegen kommen; führt man sie jedoch von entgegengesetzter Seite ein, so ziehen sie sich sehr kräftig an, weil sie jetzt mit den entgegengesetzten Polen einander treffen, von welcher Erscheinung zuweilen Anwendung gemacht wird, wie bei Bonelli's Elektromagnet, der eine Vereinigung eines Elektromagnets mit einem Solenoide ist, indem nämlich in ersterem der Magnetkern nicht aus der Spule herausragt, sondern in selbe der bewegliche Kern taucht, der somit der Spiralanziehung und der Anziehung des Kernes ausgesetzt ist.

Fig. 56.



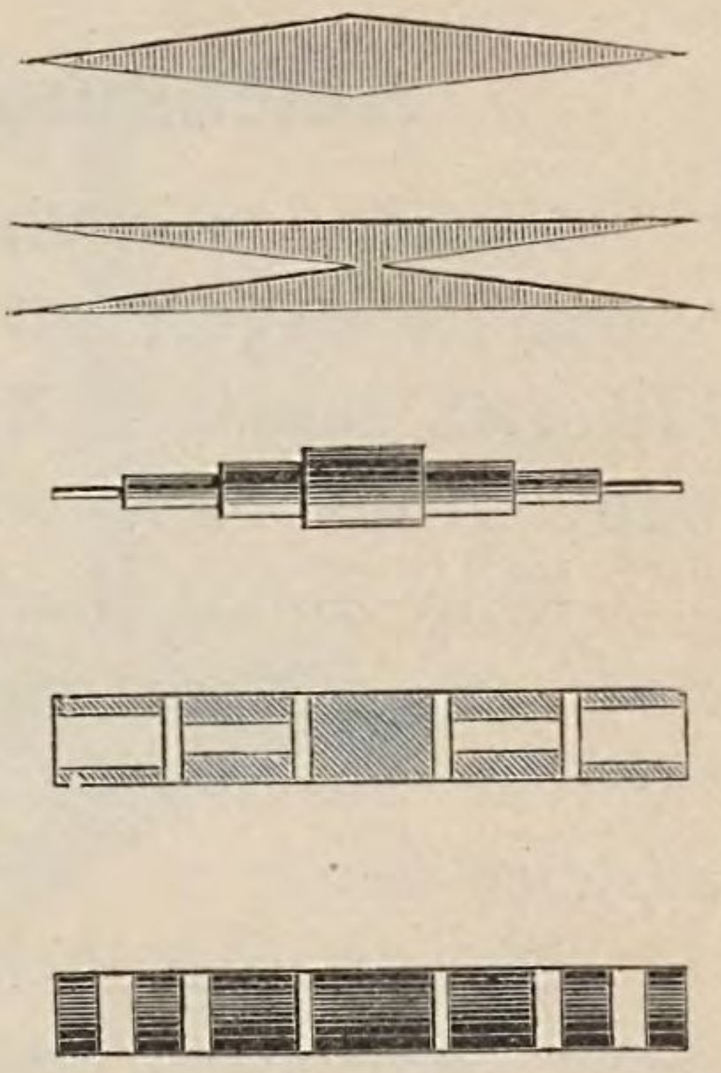
Es ist hier gewiss am Platze, der verschiedenen Veränderungen zu gedenken, welche man sowohl an der Wicklung der Spirale, als auch an der Form des Eisenstabes vorgenommen hat, um die Kraft der Anziehung auf eine gewisse Strecke hin in gleicher Grösse zu erhalten.

Wie wir bereits wissen, erreicht die Anziehungskraft die grösste Stärke, wenn das angezogene Ende mit der Mitte der Spirale in der Ebene der Windungen liegt und Null wird, wenn die Mitte des Stabes mit der Mitte des Solenoides zusammenfällt.

Um für eine längere Strecke eine gleichförmige Anziehung zu erzielen, was für manche Zwecke, wie z. B. bei elektrischen Lampen, sehr wichtig ist, verfielen verschiedene Physiker auf den Gedanken, die Wicklung des Drahtes kegelförmig zu gestalten, damit der Kern, je weiter er in die Spule eindringt, also schwächer wird, dafür der Wirkung einer grösseren Zahl von Stromelementen ausgesetzt ist.

Obwohl hierdurch eine bedeutende Verbesserung erzielt ist, kann auf diesem Wege keine volle Gleichförmigkeit in der Anziehung erreicht werden.

Fig. 57.



Das Verdienst, die gestellte Aufgabe glücklich gelöst zu haben, gebührt dem Physiker Křižik, der dem Eisenstabe eine glücklich abgeänderte Gestalt gab.

Anstatt nämlich die Zahl der Windungen gegen das Ende des Solenoides (der Spirale) zu vermehren, d. h. dieselbe conisch zu gestalten, verringert Křižik die Masse des Kernes.

Wir wissen ja, dass die Kraft, mit welcher der Kern angezogen wird (Fig. 57), abhängig ist von der Masse, die in demselben vorhanden ist.

Indem nun Křižik derselben eine kegelförmige Gestalt giebt, was gleichbedeutend ist mit einem Aneinanderreihen unendlich kleiner, immer dicker werdender Cylinder, dürfen wir der Vorstellung Raum geben, wir hätten hintereinander eine Reihe ebenfalls unendlich kleiner

Solenoide, welche in demselben Stromkreise liegen; tritt nun der dünnste aus der letzten Spirale heraus, so würde er zurückgezogen, daher die Kraft der Anziehung verringert werden. Im selben Augenblicke tritt aber am anderen Ende eine grössere Eisenmasse in die Spirale ein, wodurch die Anziehungskraft zunimmt und der erlittene Verlust ausgeglichen wird.

Ablenkung der Magnetnadel.

Nachdem wir die Wirkung kennen gelernt haben, welche ein Magnet auf einen frei beweglichen Stahl- und Eisenstab ausübt, wollen wir untersuchen, was geschieht, wenn in der Nähe einer Magnetnadel ein Strom kreist.

Vom Zufalle begünstigt, machte Oersted während einer seiner Vorlesungen die Entdeckung, dass der galvanische Strom eine Einwirkung auf die Magnetnadel ausüben kann.

Die Art und Weise, in welcher gewöhnlich der auf diesen Gegenstand bezügliche Versuch angestellt wird, ist die folgende:

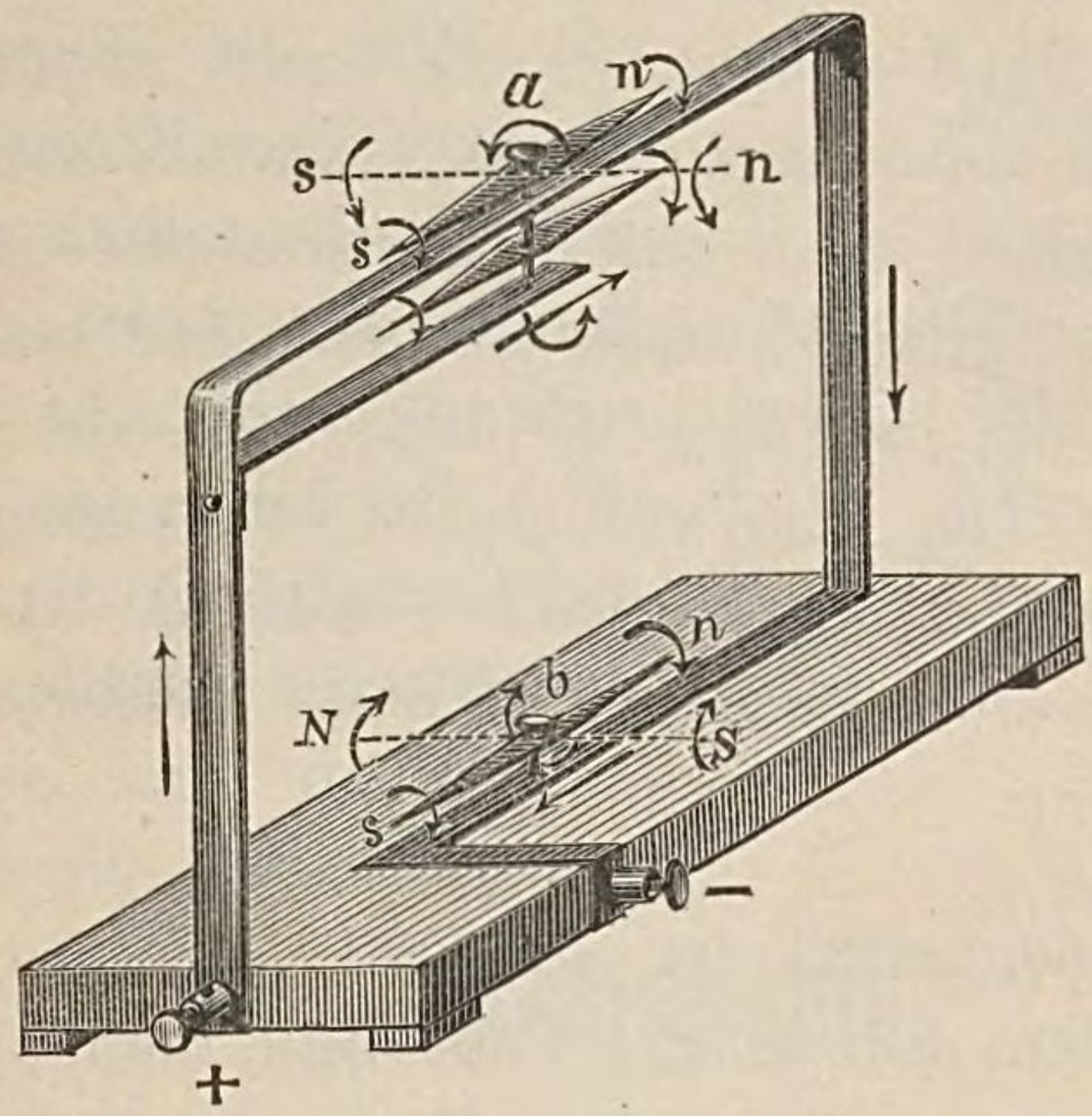
Ein nicht vollständig geschlossener rechtwinkeliger Rahmen aus Kupferblech trägt an verschiedenen Stellen Nadelspitzen, welche gestatten, eine Magnetnadel spielen zu lassen (Fig. 58).

Ist eine solche z. B. oben bei *a* aufgesetzt, so wird der Apparat so lange gedreht, bis die Längsaxe der Nadel mit der Ebene des Rahmens zusammenfällt, dieser also der des magnetischen Meridians parallel ist. Wird nun der Strom eingeleitet und denkt sich der Beschauer, er schwimme, die Nadel betrachtend, mit dem positiven

Strome längs des Rahmens in dem Leiter, so wird der Nordpol nach der linken Hand abgelenkt.

Wir können uns diesen Vorgang auch nach der Theorie von dem Ampère'schen Kreisstrom erklären und brauchen uns nur die Nadel durch ein Solenoid ersetzt zu denken; dieses wird dann so lange gedreht, bis die Richtung der Ströme in demselben mit jener des Stromes parallel ist, welcher die Ablenkung bewirkt (Fig. 58).

Fig. 58.

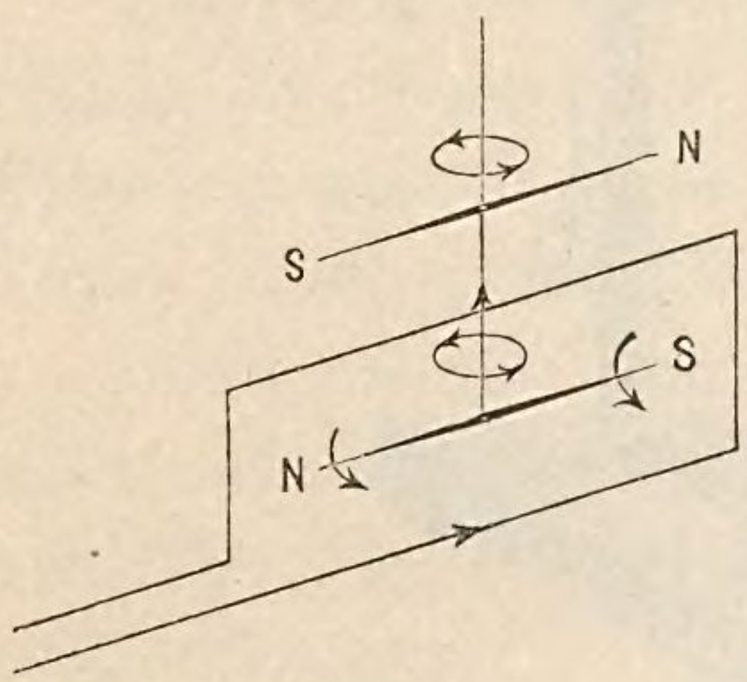


Befindet sich die Nadel unter dem Leiter, so wird sie nach der entgegengesetzten Seite abgelenkt, da jetzt die mit dem Strome schwimmende Figur, wenn sie gegen die Nadel schauen will, sich um ihre Axe gedreht haben muss. Handelt es sich um einen aufsteigenden Draht, so kommt es darauf an, ob er sich rechts oder links von der Nadelaxe befindet, was am deutlichsten gleichfalls klar wird, wenn man sich einen Ampère'schen Kreisstrom statt der Nadel denkt.

Ist die Magnetnadel innerhalb eines Stromkreises angebracht, so wird das Nordpolende dann aus der Ebene desselben gegen den Beschauer hin heraustreten, wenn der Strom dem Sinne der Uhrzeigerbewegung entgegenfliesst.

Die Gesetze von der Einwirkung eines Stromes auf eine Magnetnadel sind besonders deshalb von Wichtigkeit, weil unsere meisten Messinstrumente auf ihrer Anwendung beruhen. Wir wollen daher auch noch etwas näher auf diesen Gegenstand eingehen.

Fig. 59.



Wie die Benutzung der Ampère'schen Kreisströme zeigt, geht das Bestreben des Stromes dahin, die Nadel zur Stromrichtung senkrecht zu stellen, d. h. so lange zu drehen, bis die Kreisströme dem ablenkenden Strome parallel sind.

Wenn die Ströme sehr schwach sind, die Nadel aber sehr stark magnetisch ist, so werden die Ausschläge zu klein ausfallen. Für solche Fälle hilft man sich dadurch, dass man der magnetischen Kraft der Erde die eines künstlichen Magnets entgegenwirken lässt (Astasirung).

Aus dem, was wir eben gesagt haben, ist leicht der Schluss zu ziehen, dass die Grösse der Ablenkung, welche ein Instrument für eine gewisse Stromstärke giebt, abhängig ist von dem Orte, an welchem sich das Instrument befindet (von der Horizontal-Componente des Erdmagnetismus) und von der Grösse der magnetischen Kraft der Nadel (also mit der Zeit, wenn diese schwächer wird, sich vermindern kann).

Der richtenden Kraft des Erdmagnetismus entgegenzuwirken, giebt es noch ein zweites Mittel, welches darin besteht, ober der einen Magnetnadel eine zweite mit ihr fest verbunden anzubringen, deren Pole entgegengesetzt liegen.

Wenn beide Nadeln ganz gleich stark magnetisirt sind, so bleiben sie in allen Lagen in Ruhe; man nennt ein solches Gehänge dann vollkommen astatisch.

Der eben beschriebene Kunstgriff bietet, wie wir aus der Fig. 59 ersehen, noch den weiteren Vortheil, dass er gestattet, auch die ablenkende Kraft des stromdurchflossenen Rahmens an der Aussenseite auszunutzen, was bei sehr schwachen Strömen nicht unwesentlich ist, da durch dieselben, weil die obere Nadel entgegengesetzt magnetisch ist, die Nadel in gleichem Sinne wie die innere abgelenkt wird. Zuweilen geht man noch weiter und wendet, wie auch Ferini vorgeschlagen hat, sogar drei nebeneinander angebrachte Nadeln an.

Tangentenbussole.

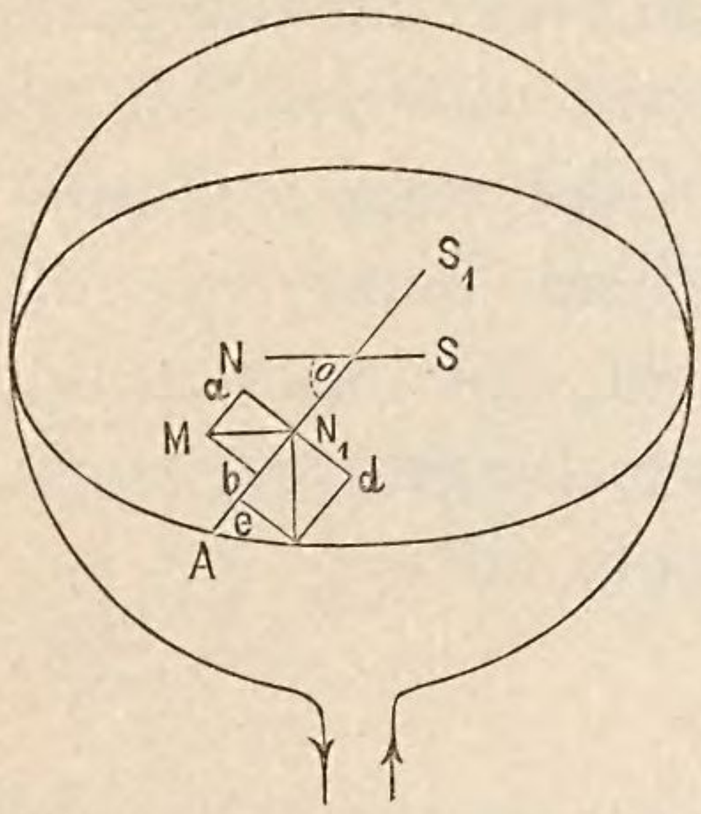
Wir haben schon an anderer Stelle erfahren, dass die Kraft, mit welcher ein stromdurchflossener Leiter auf ein magnetisches Theilchen wirkt, dem Quadrate des Halbmessers oder dem Flächeninhalt des Kreises, welchen der Leiter beschreibt, proportional, und umgekehrt proportional der dritten Potenz der Entfernung des Theilchens von diesem Kreise ist, sobald sich selbes in einer Linie befindet, die, von dem Mittelpunkte ausgehend, senkrecht auf der Kreisebene steht, also die Einwirkung bezüglich der Entfernung eine Gesetzmässigkeit aufweist;

nun wollen wir untersuchen, welcher Zusammenhang zwischen der Einwirkung des Stromes und seiner Stärke besteht.

Hegen wir daher die Absicht, aus der Ablenkung einen Schluss auf die Stromstärke zu ziehen, so muss vor Allem die Lage der Nadel gegen den Leiter ein- für allemal dieselbe bleiben.

Dies geschieht, wenn man die Nadel selbst in den Mittelpunkt des Kreises setzt, zu welchem der Leiter zusammengebogen ist. Machen wir die Nadel gegen den Kreisdurchmesser klein genug, so können wir uns wohl die Annahme gestatten, dass die Resultirende der magnetischen Kräfte, mit welchen die kleinsten Theilchen des Leiters auf die Nadel wirken, proportional ist der Summe aller Theilstromkräfte, also proportional der Stromkraft des ganzen Ringes, als auch senkrecht wirkt auf die Ebene desselben.

Fig. 60.



Um zu erfahren, nach welchem Gesetze die Ablenkungen erfolgen, wollen wir eine kurze Betrachtung anstellen, welche die Fig. 60 erläutern soll. Ist die Nadel abgelenkt und zur Ruhe gekommen, so wirken zwei Kräfte, die sich das Gleichgewicht halten: die magnetische Richtkraft $N_1 M$ parallel zur Ringebene (da ja der Ring in der Ebene des magnetischen Meridians liegt, in welcher die Richtkraft thätig ist), die ablenkende Stromkraft $N_1 A$ senkrecht zur Ringebene.

Weil aber die Kraft $N_1 A$ nicht rechtwinkelig gegen die Nadel wirkt, so übt sie nicht ihre volle Wirkung

aus; es geht ein Theil verloren, dessen Grösse wir erfahren, wenn wir das Kräfteparallelogramm zu Hilfe nehmen. Wir zerlegen sie also in zwei Componenten, von denen $N_1 d$ senkrecht zur Nadel $N_1 e$ in deren Verlängerung wirkt; wird am Drehungspunkt die letztere Kraft aufgehoben, so bleibt uns nur $N_1 d$ übrig zur Vollführung der Drehung. Machen wir es ebenso mit der Richtkraft der Erde N, M, zerlegen sie in die Kraft $N_1 a$ senkrecht zur Nadel und in die Kraft $N_1 b$, welche in der Richtung der Nadel wirkt, also aufgehoben wird, so bleiben uns von beiden Wirkungen nur die zwei senkrecht zur Nadel gerichteten Componenten $N_1 a$ und $N_1 d$ übrig, welche nach entgegengesetzten Richtungen wirken, also, sobald sie gleich gross sind, einander aufheben.

Dies angenommen, ist:

$$N_1 a = N_1 M . \sin \alpha$$

$$N_1 d = N_1 A \quad \cos \alpha$$

wenn α der Winkel ist, den die jetzige Lage der Nadel mit der früheren einschliesst, und weil

$$\measuredangle N_1 M . a = \measuredangle d N_1 A = \alpha \text{ ist,}$$

setzen wir

$N_1 A = A =$ ablenkende Kraft des Stromes,

$N_1 M = M =$ magnetische Richtkraft,

so haben wir, weil

$$N_1 a = N_1 d$$

$$M \sin \alpha = A \quad \cos \alpha$$

$$A = M \quad \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}$$

$$A = M \, tang \, \alpha$$

Für einen anderen Strom wird sich A in A_1 verwandeln und wir haben dann

$$A_1 = M \, tang \, \alpha_1,$$

daraus

$$A : A_1 = M\ tang\ \alpha : M\ tang\ \alpha_1$$

oder

$$A : A_1 = tang\ \alpha : tang\ \alpha_1,$$

weil, wie wir bereits erwähnt haben und auch ganz leicht einzusehen ist, M so lange unverändert bleibt, als die Nadel ihre ursprüngliche Stärke beibehält und der Apparat keine Ortsveränderung erleidet.

Wir können also, diese Proportion in Worten ausgedrückt, sagen, so lange alle Voraussetzungen, welche wir gemacht haben, zutreffen:

Die ablenkenden Kräfte zweier Ströme verhalten sich zueinander wie die Tangenten der Winkel, welche die Nadel mit der Ebene des Leiters einschliesst oder, um welchen die Nadel aus dieser Ebene herausgetrieben wurde.

Angefügt wollen wir noch darauf aufmerksam machen, dass die Stärke der Magnetnadel wohl einen Einfluss ausübt auf die Grösse des Ablenkungswinkels, aber keinen auf die Gesetzmässigkeit, in welcher die Ablenkungen erfolgen, das Gesetz also auch gilt, wenn wir eine stärkere Nadel nehmen, die ∢ müssen dann natürlich alle mit dieser ermittelt sein.

Stellen wir uns vor, unser Leiter sei um seine senkrechte Axe beweglich (drehbar), befinde sich in der Ebene des magnetischen Meridians und ein Strom werde hindurchgeschickt. Unzweifelhaft wird dadurch die Nadel abgelenkt werden und in Ruhe kommen, bis, wie wir besprochen haben, die beiden Componenten gleich gross geworden sind. Drehen wir nun den Leiter um seine Axe im Sinne der Richtung, nach welcher der Nadelausschlag erfolgte, so wird die Nadel auch eine Weiter-

bewegung in diesem Sinne zeigen, bald aber werden wir beobachten, dass der Winkel, welchen die Nadelrichtung mit der Ebene des Leiters einschliesst, kleiner und endlich gar Null wird, was seinen Grund darin hat, dass die Componente der magnetischen Richtkraft wächst, weil sie unabhängig von der Stellung des Ringes ist, während die ablenkende Kraft, welche abhängt von der Lage des Leiters gegen die Nadel, dieselbe bleibt. Da nun aber zum Schluss beide Componenten doch gleich sind, so brauchen wir nur, um die Grösse zu erfahren, den Sinus des Winkels, welcher die Nadel mit dem magnetischen Meridian einschliesst, in Rechnung zu ziehen, denn jener des Kreises mit der Nadel, der ja bestimmend wäre für die Stromwirkung, ist ja $= 0$.

Wir haben wie vorher

$$N_1 a = M \sin \alpha = A,$$

für einen anderen Strom werden wir α_1 erhalten; wir haben dann

$$A = M \sin \alpha$$
$$A_1 = M \sin \alpha_1$$

also

$$A : A_1 = M \sin \alpha : M \sin \alpha_1 = \sin \alpha : \sin \alpha_1,$$

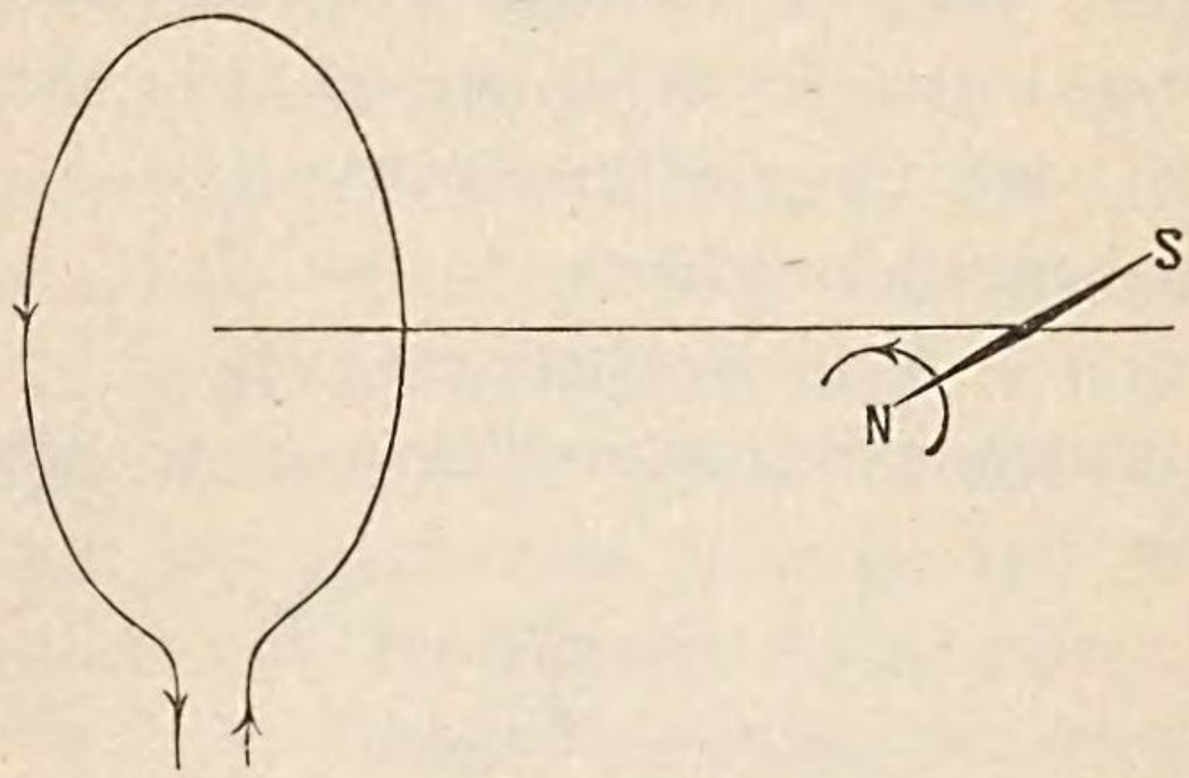
d. h. die ablenkenden Kräfte zweier Ströme sind den Sinuswerthen der Winkel proportional, um welche das Drahtgewinde gedreht werden muss, bis die Nadel nicht mehr aus der Ebene derselben heraustritt.

Bei der Sinusbussole entfällt die Vorbedingung, welche bei der Tangentenbussole unerlässlich ist, dass die Nadel möglichst klein sei, da ja dieselbe nicht aus der Ebene des Stromkreises heraustritt. (Das Drahtgewinde der Sinusbussole braucht ferner nicht aus einem

Kreisbogen zu bestehen.) Um auch bei der Tangentenbussole diese lästige Bedingung zu umgehen, hat man folgenden Kunstgriff angewendet, den zu verstehen wir einige Worte vorausschicken wollen.

Ist die Nadel nicht sehr klein im Verhältniss zum Ringdurchmesser, so bleibt die Grösse der Ablenkung gegen diejenige zurück, welche dem Gesetze von der Proportionalität zufolge erwartet werden müsste, da sich ja die Enden der Nadel bei derselben von dem Leiter merklich entfernen.

Fig. 61.



Nimmt man die Nadel aus dem Mittelpunkte heraus und bringt sie in der Linie an, welche senkrecht auf der Kreisebene steht und durch den Mittelpunkt geht (Fig. 61), so wird wieder bei einiger Entfernung die Ablenkung zu gross ausfallen, weil sich das eine Ende der Nadel nähert und das andere sich entfernt, jenes aber, das näher kommt, angezogen wird, in der Figur hier z. B. der Südpol.

Die Vermuthung liegt nahe, dass in einer der Zwischenlagen sich vielleicht dieses Zuwenig und Zuviel aufheben dürfte.

In der That haben Helmholtz und Gaugain gefunden, dass dies der Fall sei, wenn sich die Nadel in einer Entfernung vom Mittelpunkt befindet, die dem vierten Theil des Ringdurchmessers gleichkommt.

Magneto-Induction.

Nähern wir einem Magnetstab einen Stab aus weichem Eisen, so wird der letztere gleichfalls magnetisch; wir erzeugen also in demselben durch die blosse Annäherung jene kleinen Ampère'schen Kreisströme, die sich ebenso wie die Ströme in unseren Leitern verhalten.

Es ist daher die Frage sehr naheliegend, ob wir durch Annäherung an einen Leiter nicht ebenfalls im Stande sind, Ströme hervorzurufen.

Zur Untersuchung dieser Frage schalten wir in eine Leitung ein Galvanometer empfindlicher Art und eine Spirale von zahlreichen Windungen ein. Nähern wir nun dieser Spirale den Magnetstab, so dass dessen Ampère'sche Ströme sich durch Ebenen bewegen, die parallel zu jenen unserer Spiralwindungen liegen, so werden wir in der That eine Ablenkung der Magnetnadel, also wirklich wahrnehmen können, dass durch Annäherung des Magnetstabes ein elektrischer Strom erregt wird.

War der Stab ganz eingesenkt und ziehen wir ihn sodann rasch zurück, so bekommen wir neuerdings einen Ausschlag, und zwar einen solchen, der eine entgegengesetzte Richtung des Stromes andeutet.

Wir haben nun erfahren, dass bei Annäherung und Entfernung eines Magnets gegen und von einem geschlossenen Leiter Ströme entstehen, die gegeneinander

in entgegengesetzter Richtung verlaufen. Diese Ströme heissen Inductionsströme und das Verfahren, sie zu erzeugen, die Magneto-Induction.

Später werden wir kennen lernen, welche Rücksichten beobachtet werden müssen, damit wir das Maximum, welches erhältlich ist, erzielen.

Fig. 62.

Um zu erfahren, welche Richtung die Ströme haben werden, brauchen wir uns blos jene Figuren zu betrachten, die wir bei der Untersuchung jener Wirkung, welche eine stromdurchflossene Spirale auf einen Magnet ausübt, benutzten, und zwar gilt der Sinn der Anziehung, welche die Spirale ausübte, für ein Entfernen des Magnets, die Annäherung desselben erzeugt dann den entgegengesetzt gerichteten Strom.

Fig. 63.

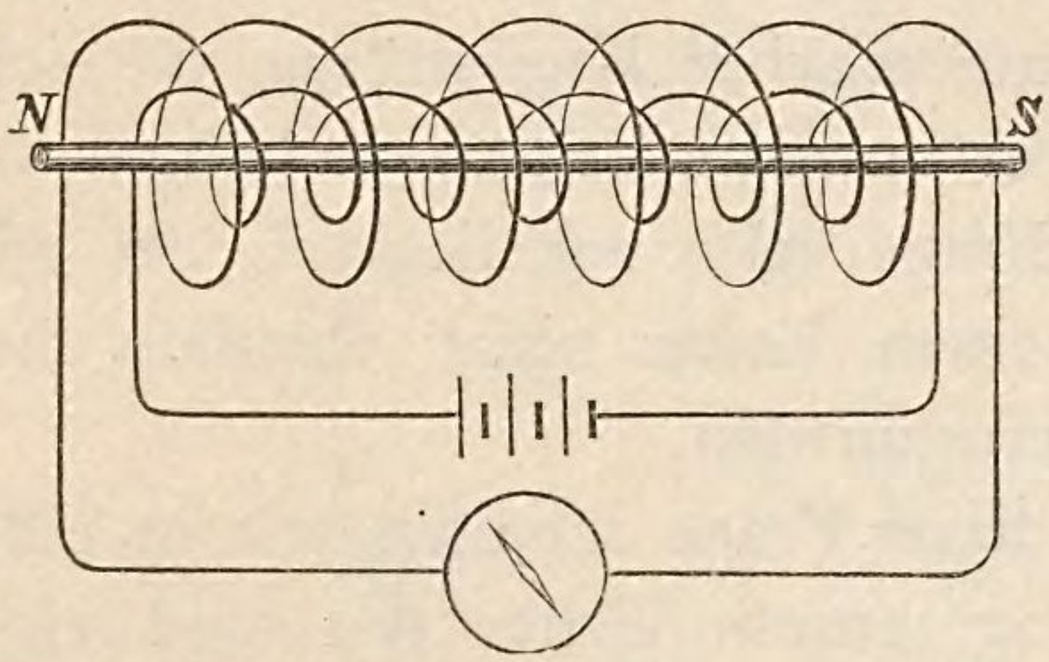
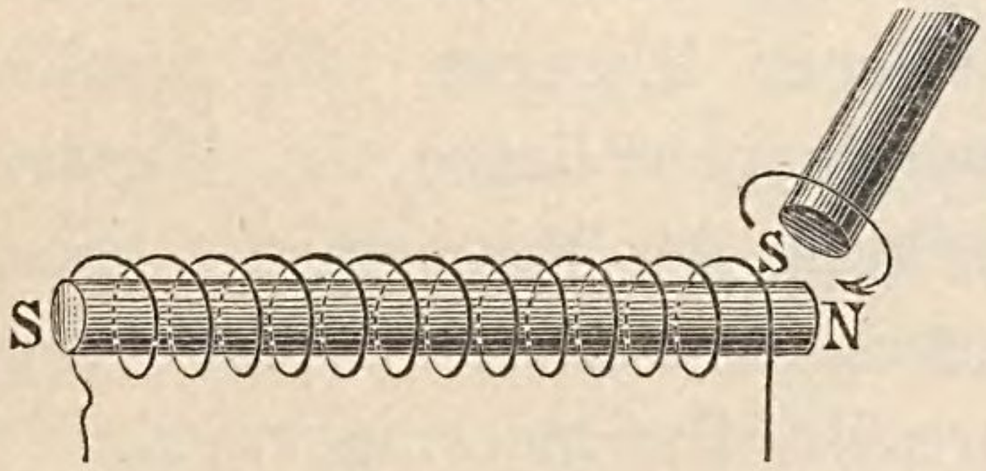


Fig. 64.



Wird also der Südpol entfernt, so entsteht ein derartig gerichteter Inductionsstrom, dass eine Anziehung zu überwinden ist, also ein Strom in paralleler Richtung zu den Ampère'schen Strömen des Magnets.

Statt Annähern und Entfernen eines Magnetstabes können wir auch die Höhlung der Spirale mit einem

Kern aus weichem Eisen versehen, den wir durch Annäherung eines Magnetstabes magnetisch machen (Fig. 62).

Wir können aber noch anders verfahren; denken wir uns eine Spirale von einiger Länge mit einem Eisenkern versehen und nähern dem einen Ende einen Magnetstab und führen dann denselben längs der Spirale fort, so erhalten wir gleichfalls einen Inductionsstrom von genau derselben Richtung, als ob wir einen Magnetstab durchgeschoben hätten, voran mit einem Pole, der dem des Magnetstabes entgegengesetzt war, wie wir wirklich aus dem Ausschlag des eingeschalteten Galvanometers ersehen können; wir müssen also annehmen, dass dieser inducirte Pol unserer Magnetbewegung gefolgt sei, also unser Stab nacheinander in seinen kleinsten Theilen eine Polarität angenommen habe, die der des genäherten Magnetpoles entgegengesetzt ist (Fig. 64).

Mit dieser Vorrichtung können wir aber noch einen weiteren Versuch anstellen.

Ziehen wir nämlich den Eisenstab aus der Spirale heraus und führen wieder wie früher den Magnet längs derselben vorbei, so bekommen wir denselben Ausschlag, freilich nicht so kräftig.

Aus diesem Versuche schliessen wir also ganz richtig, dass in einer Spirale ein Strom in gleicher Richtung erzeugt wird, wenn der Magnet aussen vorbeigeführt wird, sobald der genäherte Pol das entgegengesetzte Zeichen hat, welches für diesen Strom ein in das Innere eingeführter haben müsste. Dieses Ergebniss ist ganz entsprechend der schon angeführten Anziehung eines hufeisenförmig gebogenen Stabes durch ein Solenoid.

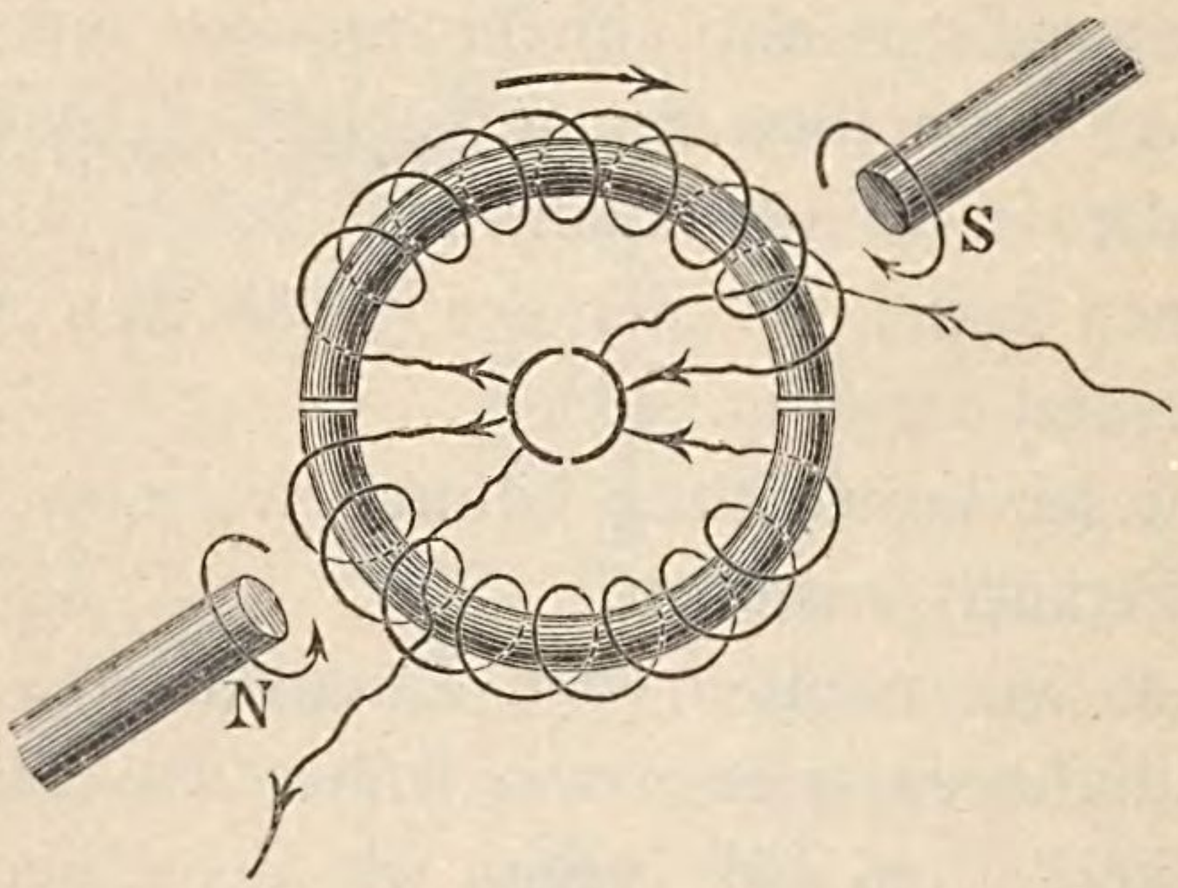
Statt dass wir den Magnet bewegen, können wir uns auch die Spirale verschoben denken, oder was noch

einfacher ist, wir können uns vorstellen, selbe sei halbkreisförmig gebogen und an einer Scheibe befestigt, mit welcher sie sich um den Punkt O vor dem Magnetstab vorbeibewege.

Denken wir uns die Enden der Spirale an einem Halbcylinder streifend, so werden wir beobachten können, dass während der ganzen Bewegung ein gleichförmiger Strom entsteht.

Wäre auf der Unterseite der Scheibe eine zweite Ringhälfte mit einer ganz gleichen Spirale befestigt, so

Fig. 65.



würde in deren Draht unter dem Finflusse eines Nordpoles ein Strom entstehen, der gleichfalls zur Ringhälfte strömt.

Die Ringhälften könnten wir uns aber auch gebildet denken aus einer gewissen Anzahl von Streifen, die voneinander isolirt sind, wenn wir sie gleichzeitig derartig mit der Spule so in Verbindung setzen, dass von jedem Stück derselben, welches dem Winkelwerth des Streifens entspricht, eine Zuleitung erfolgt, damit nicht der Strom Unterbrechungen erfährt. Wir erhalten dann jene Vorrichtung, welche unter dem Namen Gramme'scher Ring in der Elektrotechnik eine so wichtige Rolle spielt.

Erklärung der Induction mit Hilfe der magnetischen Kraftlinien, Schirmwirkung eines Eisenringes.

Wir haben bisher uns bei den Erklärungen, welche wir gegeben haben, an die Ampère'schen Molekularströme gehalten. Es giebt aber noch eine andere Art, diese Vorgänge zu betrachten, welche vielleicht zuweilen vortheilhafter sein kann und die wir daher unseren Lesern nicht vorenthalten wollen.

Diese Betrachtungsweise knüpft sich an die sogenannten magnetischen Kraftlinien an, von welchen wir nachstehend Einiges sprechen wollen.

Wir haben schon an anderer Stelle den Begriff Kraftlinie kennen gelernt. Das Gleiche, was dort für elektrische Körper, ihre Niveauflächen etc. gesagt wurde, lässt sich nun hier auch auf magnetische Körper anwenden.

Faraday verdanken wir das Mittel, diese Kraftlinien oder auch Curven sichtbar machen zu können.

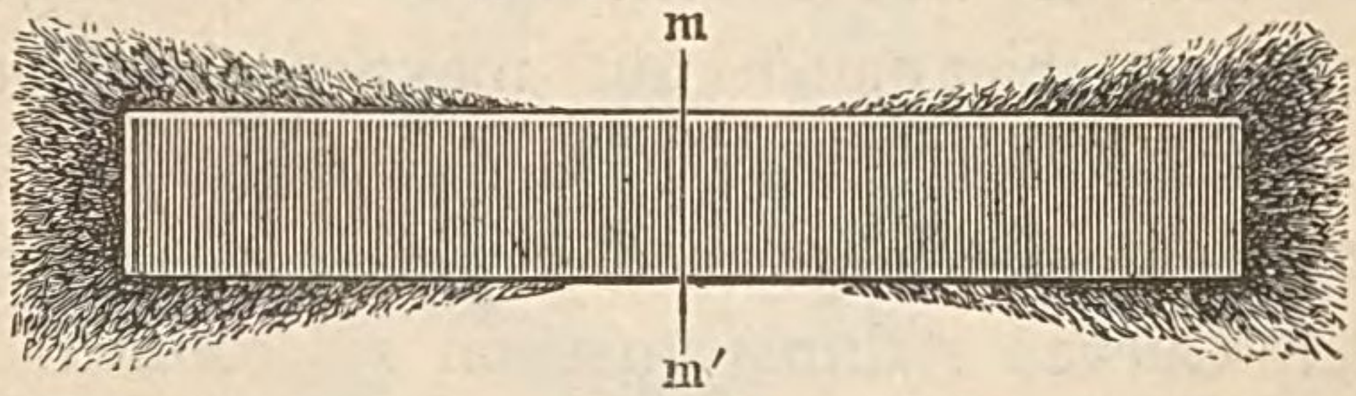
Zu diesem Zwecke genügt es, dem magnetischen Körper ein Papierblatt möglichst nahe zu bringen und und selbes dann mit feinen Eisenfeilspänen zu bestreuen; diese ordnen sich sofort, besonders wenn man sie durch kleine Erschütterungen unterstützt, in vielfache eigenthümlich geformte parallele oder divergirende Linien, welche eben die magnetisshen Kraftcurven sind.

Stellen wir den Versuch mit einem Magnetsab an so finden wir, dass sich in der Mitte wenig Eisenfeile anlegen, während sich an den Enden förmliche Strahlenbüschel bilden. Dies können wir uns am besten so erklären, wenn wir uns denken, wir würden eine kleine Nadel, die an einem Faden hängt, der Mitte des Magnetstabes nähern. Da die Nadel von beiden Enden gleich

magnetisirt wird, muss sich dieselbe zum Stabe parallel stellen; je mehr wir gegen das eine Ende fortschreiten, einen desto grösseren Neigungswinkel wird die Nadel mit der Magnetkante einschliessen, da die Anziehung des Poles, dem wir die Nadel nähern, immer mehr und mehr überwiegt.

Endlich muss ein Punkt kommen, in welchem sich die Nadel ganz senkrecht stellt, weil die Einwirkung des anderen Poles fast Null geworden ist. Ordnen wir mehrere Nadeln nebeneinander an, so werden sich die dem Magnet abgewendeten Enden, weil sie gleichnamig magnetisch sind, abstossen. Bei unserem Versuche wird

Fig. 66.



daher um das Ende des Magnetstabes eine strahlenförmige Anordnung entstehen.

Unsere Feilspäne können wir uns als kleine derartige Nadeln vorstellen.

Die Fig. 66 zeigt, wie sich die Feilspäne thatsächlich unserem eben gegebenen Versuche gemäss anordnen.

Haben wir zwei Pole von z. B. rundem Querschnitt nebeneinander, so werden sich zwei Nadeln, welche zwischen dieselben gebracht werden, abstossen, weil sie sich mit zwei gleichen Polen gegenüberstehen und in Folge dessen auch ihre sonst senkrecht gegen die Pole gerichtete Stellung aufgeben. Demgemäss erhalten wir mit

Feilspänen auch ein Bild, in welchem es den Anschein hat, als ob sich die Kraftcurven ausweichen wollten (Fig. 67).

Der entgegengesetzte Fall tritt ein, sobald wir einen Nordpol einem Südpole gegenüberstellen, denn gerade so wie sich zwei Nadeln anziehen werden, die wir zwischen solche Pole brachten, findet auch eine Anziehung der Kraftcurven statt (Fig. 68), so zwar, dass der zwi-

Fig. 67.

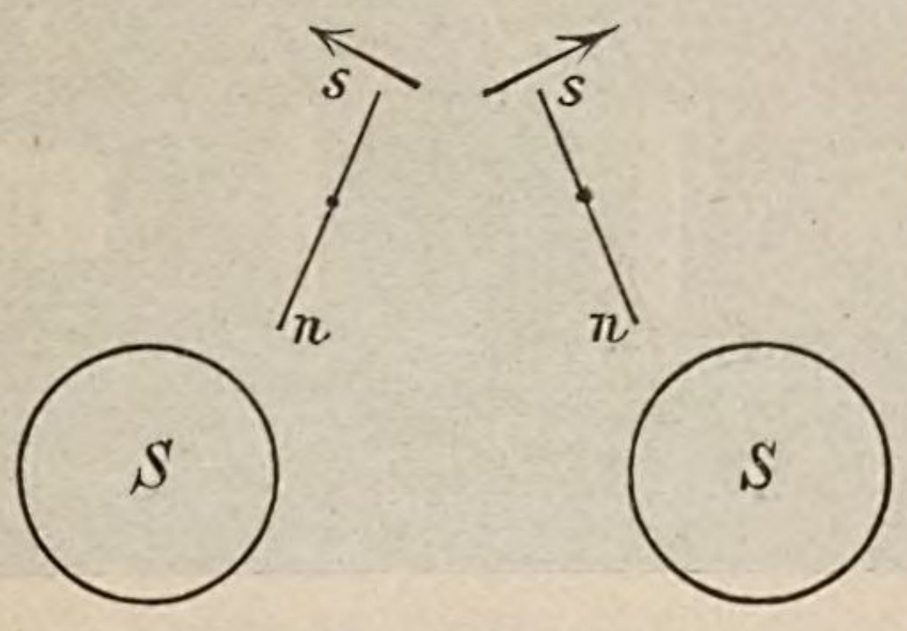
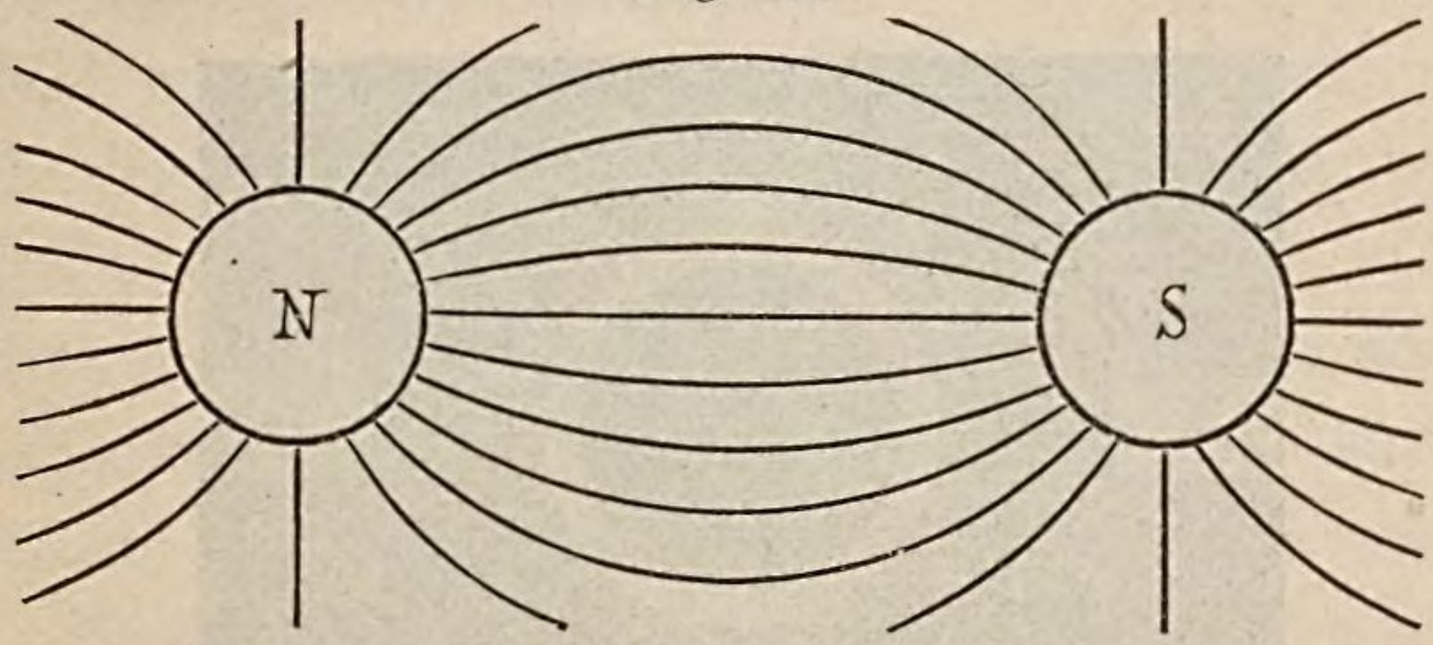


Fig. 68.



schenliegende Theil der Curven ihre Stellung senkrecht zur Polfläche aufgeben und sich mehr der Verbindungslinie beider Pole nähern.

Hat man die Absicht, derlei Figuren bleibend aufzubewahren, so nimmt man als Unterlage Wachspapier das man durch ein darübergehaltenes heisses Blech soweit erwärmt, dass das Wachs schmilzt und die Späne festhält; das Aufdrücken eines anderen mit Klebstoff ver-

sehenen Papierblattes ist nicht zu empfehlen, da viele aufrechtstehende Theilchen dadurch aus ihrer Lage gebracht werden; endlich kann man noch eine Fixirung mittelst eines Flüssigkeitszerstäubers, der mit Schellacklösung gefüllt ist, erzielen.

Fig. 69.

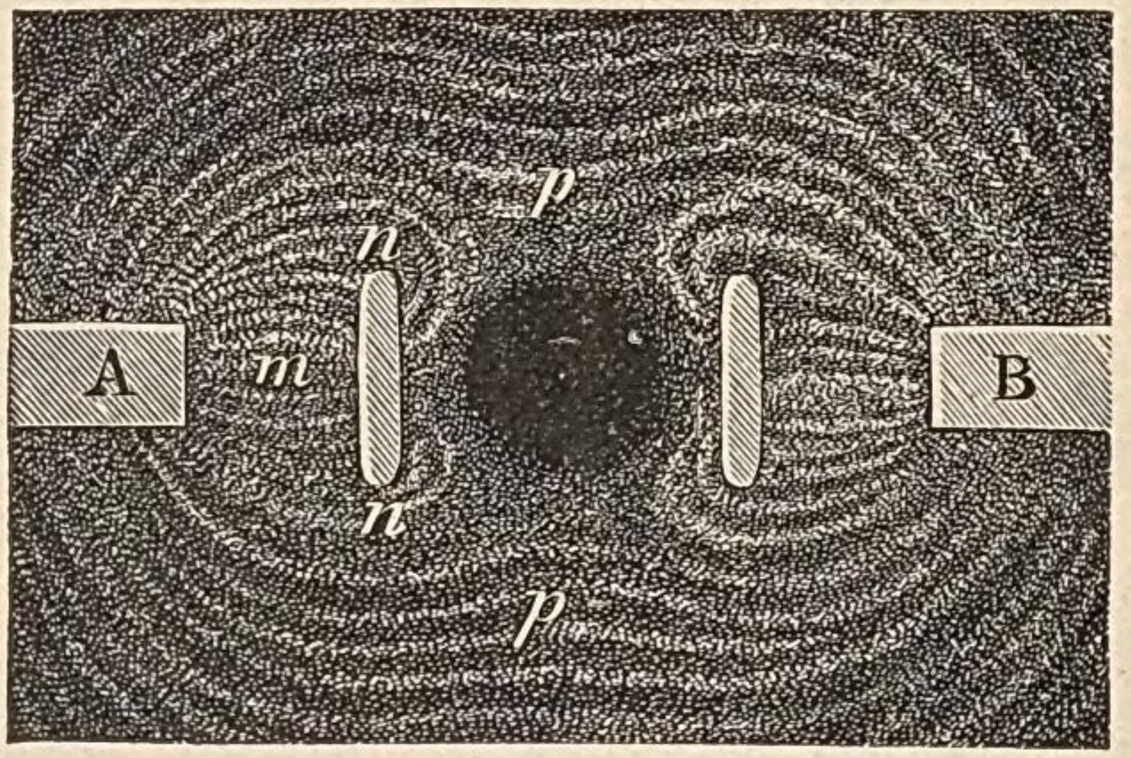
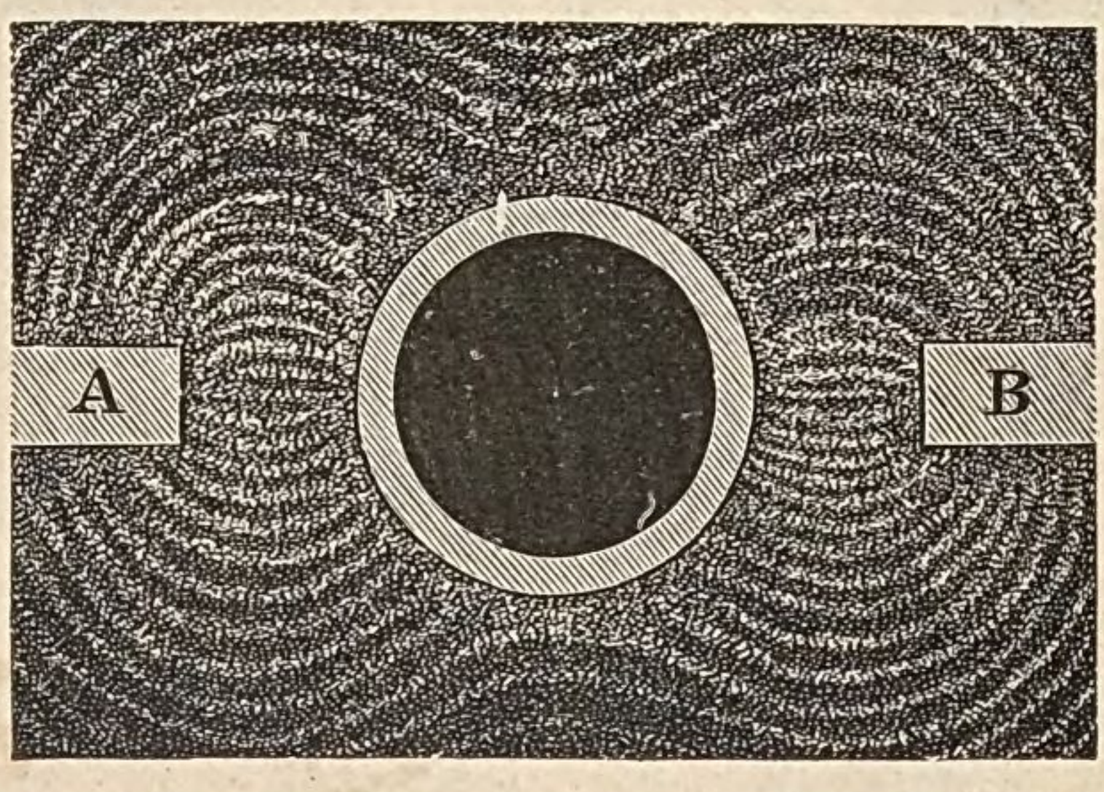


Fig. 70.



Mit Zuhilfenahme dieser Kraftlinien lässt sich folgendes Gesetz aussprechen:

So oft magnetische Kraftlinien einen Leiter, am besten unter rechtem Winkel, schneiden, der durch das magnetische Feld geführt wird, entsteht ein Strom, sobald die Bewegungsrichtung eine derartige ist, dass die Zahl der

Kraftlinien, denen er begegnet, in Zunahme ist, und umgekehrt gerichtet einer, wenn dieselbe abnimmt.

Der Versuch mit den Feilspänen giebt uns ferner auch Aufschluss über Aenderungen in dem Verlaufe der Kraftlinien, welche dann erfolgen, wenn zwischen die Magnetpole Eisenmassen gebracht werden, was zu wissen oft bezüglich günstiger Constructionen sehr wichtig ist. Da in diesen Eisenmassen der entgegengesetzte Magnetismus erregt wird, werden sich die Kraftlinien ähnlich gestalten, wie zwischen zwei entgegengesetzten Magnetpolen und es entstehen die in Fig. 69 gegebenen Gestalten der Kraftlinien.

Ist die Röhre kurz, ringartig, so geht ein Theil der Kraftlinien über den Rand in das Innere des Ringes, wie aus der Fig. 70 zu sehen ist, welche einer Schrift des verstorbenen Ant. Bréguet über die Theorie der Gramme-schen Maschine entnommen ist.

Wie leicht ersichtlich, wirken diese Kraftlinien bezüglich der Induction günstig, weshalb die Anwendung kurzer Cylinder vortheilhaft zu sein scheint.

Eingehend behandelt die Schirmwirkung des Eisens eine Abhandlung von J. Stefan, welche von der Wiener Akademie der Wissenschaften herausgegeben wurde.

Volta-Induction.

Es ist selbstverständlich, dass wir uns den Magnetstab durch einen Elektromagnet ersetzt denken können; für diesen Fall werden in Bezug auf Stromrichtung ganz dieselben Gesetze Geltung haben.

Aus der Aehnlichkeit des Verhaltens der Ampère-schen Ströme mit dem elektrisch n Strom könnten wir uns schon im vorhinein ein Bild davon machen, was geschehen würde, wenn wir einen stromdurchflossenen Leiter einer Spirale nähern.

In der That ergiebt der Versuch, dass auch nach Entfernung des Eisenkernes, welchen der Elektromagnet enthält, durch blosses Entstehen und Verschwinden eines galvanischen Stromes im benachbarten Leiter ein eben-solcher entsteht, welcher in entgegengesetzter Richtung fliesst. Fig. 71 soll diesen Vorgang versinnlichen.

Fig. 71.

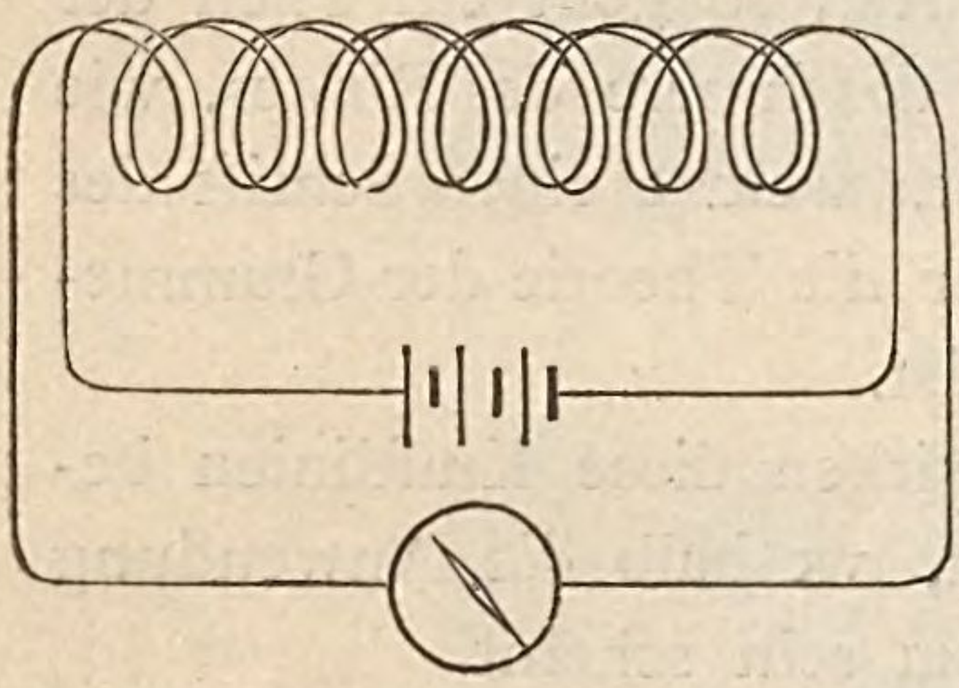
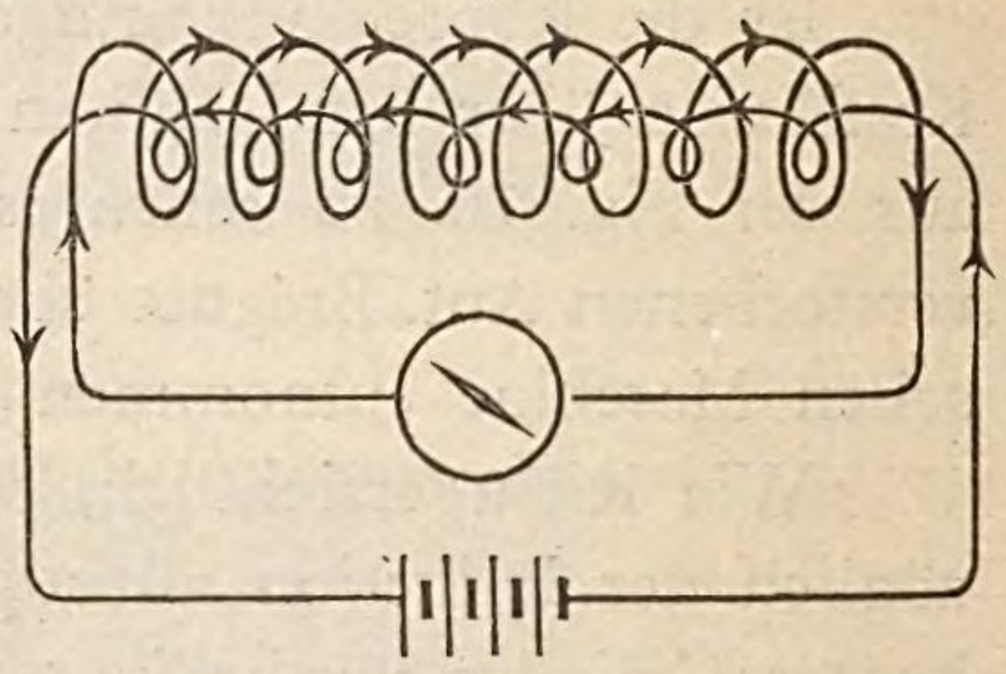


Fig. 72.



Zugleich können wir aber unwillkürlich die Beob-achtung machen, dass die erhaltenen Ströme viel kräf-tiger sind, wenn die sogenannte primäre Spule (die stromdurchflossene) den Eisenkern enthält. Es wirken hier eben der Strom und zugleich der durch denselben erzeugte Magnet im gleichen Sinne, und zwar so, dass ein Entstehen des Stromes (Einleiten desselben) eine Annäherung, ein Vergehen (Verschwinden, Unterbrechen) desselben einer Entfernung des Magnets entspricht (Fig. 72).

Statt die zweite Drahtspirale in die Höhlung der ersten zu schieben, können wir auch beide Drähte neben-einanderwinden; senden wir sodann durch die eine

der beiden einen Strom, so wird in der benachbarten ein Strom inducirt, dessen Richtung entgegengesetzt gerichtet ist.

Unterbrechen wir den primären Strom, so wird uns die Nadel abermals das Entstehen eines Stromes anzeigen, der aber jetzt die entgegengesetzte Richtung in Bezug auf den zuerst inducirten hat, mithin so läuft, als ob wir den Magnet entfernt hätten.

Zur Erzeugung derartig inducirter Ströme ist jedoch eine Unterbrechung oder Schliessung des primären Stromes nicht nothwendig, es genügt, wenn derselbe seine Stärke ändert, gerade so wie es bei dem Magnete nicht nothwendig war, denselben in unendliche Entfernung zu bringen, sondern blosse Annäherung genügte.

Wir wollen nun kurz wiederholen, auf wie viele Arten diese inducirten Ströme entstehen können.

1. Durch Annäherung und Entfernung eines Magnets an und von einer Spirale; 2. durch Annäherung und Entfernung eines Elektromagnets an und von einer Spirale; 3. durch Annäherung und Entfernung eines Magnets an einen Eisenkern, der in einer Spirale steckt; 4. durch Einleitung und Unterbrechung eines Stromes, der um einen in der Spirale befindlichen Elektromagnet kreist; 5. durch Einleitung und Unterbrechung eines Stromes, der in einer Spirale kreist, welche in einer zweiten Spirale steckt, oder deren Windungen mit der zweiten parallel laufen; 6. durch Annäherung einer stromdurchflossenen Spirale an eine zweite.

Die Annäherung und Entfernung, sowie die Lage der Spiralwindungen soll dabei eine solche sein, dass die Ebenen, in welchen dieselben liegen, zueinander eine parallele Richtung haben.

Statt zwei Drähte nebeneinander zu haben, könnten wir uns dieselben ineinandergelegt denken. Aus dem Vorhergehenden dürfen wir wohl den Schluss ziehen, dass der stromdurchflossene Draht (die primäre Spirale) auf den ihn umgebenden eine inducirende Wirkung ausüben wird, also ein einzelner Draht auf sich selbst ebenso wie die einzelnen Windungen aufeinander, gerade so wie wir ja an anderer Stelle erfahren haben, dass die einzelnen Windungen aufeinander eine anziehende Wirkung ausüben.

Fig. 73.

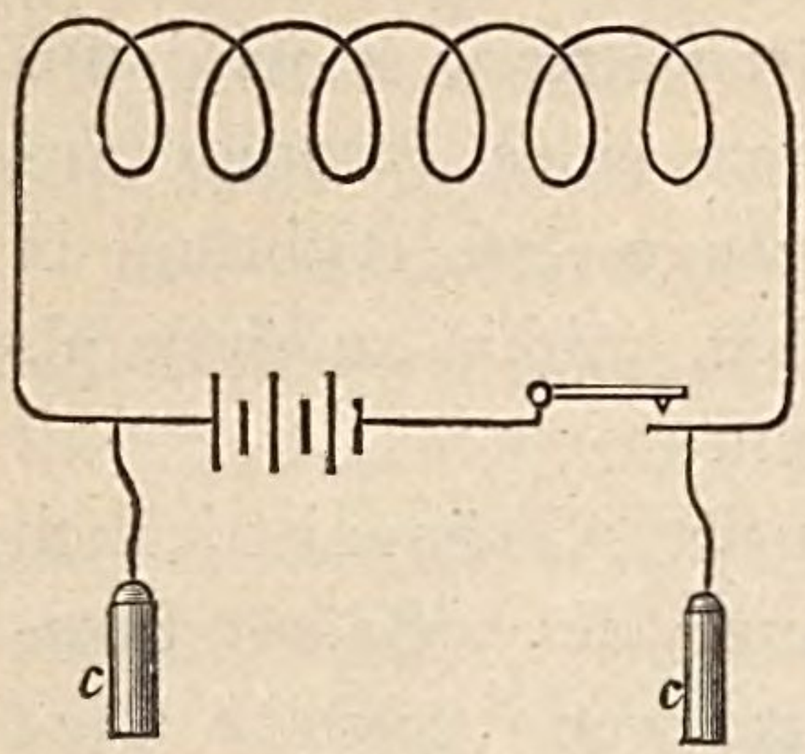


Fig. 74.

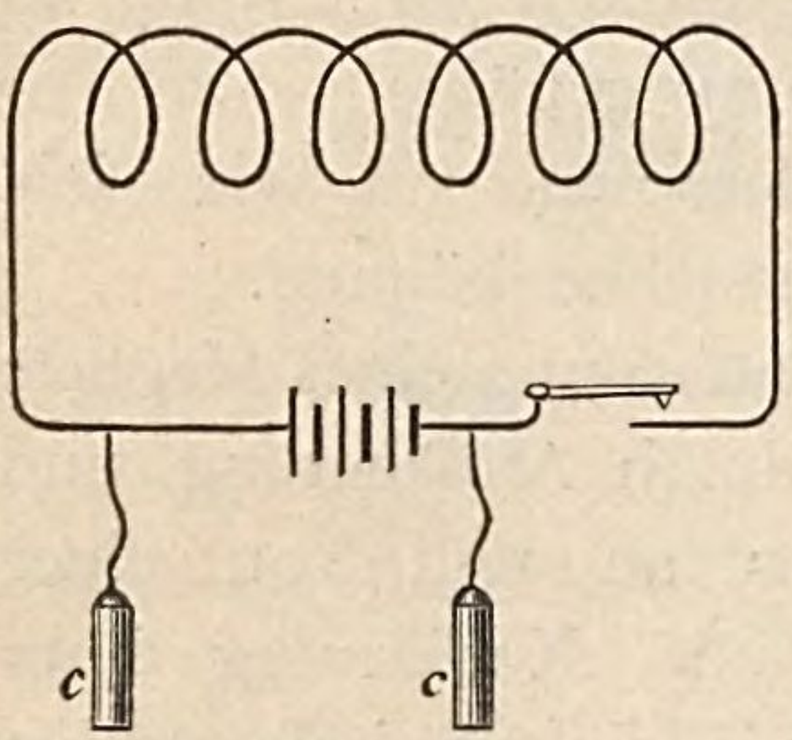
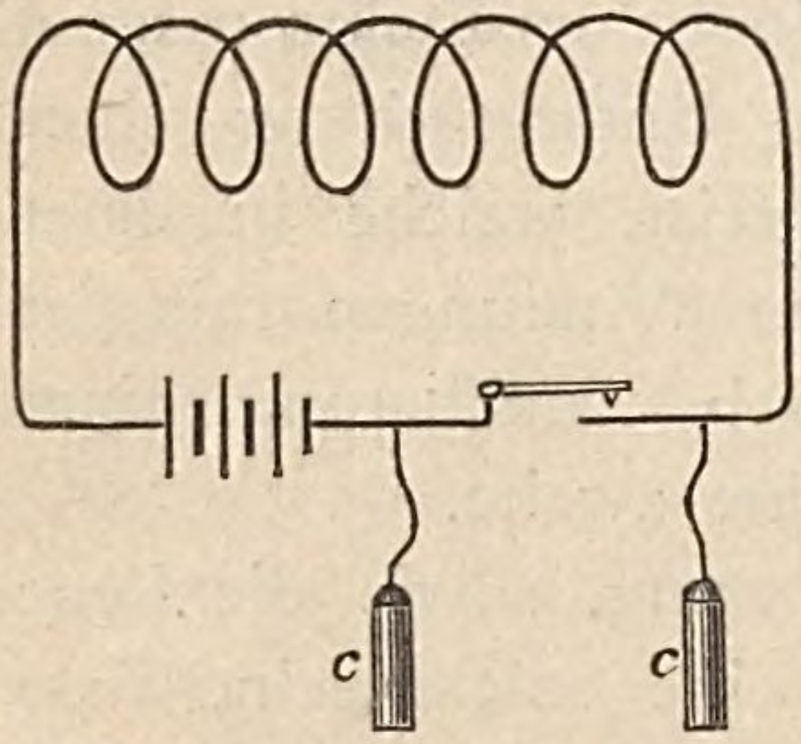


Fig. 75.



Um uns von der Richtigkeit dieser Vermuthung zu überzeugen, verbinden wir die Spirale mit einer Säule und nehmen die Enden der Drähte, die mit kleinen Metallcylindern *c* versehen sind, in die Hand. Die Fig. 73, 74 und 75 geben die Ansicht von den verschiedenen Anordnungen, welche getroffen werden können.

Der beim Schliessen der Säule hervorgebrachte Inductionsstrom entgeht unserer Beobachtung, da er von jenem der Kette, dem er ja ent-

gegengerichtet ist, aufgehoben wird, dafür wirkt der Oeffnungsstrom auf unsere Nerven. Nach der Anregung, welche durch Faraday, der auch der Entdecker dieser Ströme ist, gegeben wurde, nennt man sie die Extraströme.

Wir sehen also, dass es durchaus nicht nothwendig ist, zwei Drahtwindungen anzuwenden, wenn man Inductionsströme erhalten will; es genügt, den Strom im Leiter zu unterbrechen, damit ein solcher entsteht.

Wenn wir die Sache näher überlegen, so fällt uns sofort auf, dass im Augenblicke, in welchem wir den Strom schliessen, ein Strom entsteht, der dem inducirenden entgegenfliesst, also ihn schwächt, während der verschwindende verstärkt wird.

Wir empfinden daher, wenn wir den Leitungsdraht der Spirale in die Hand nehmen und ebenso den Batteriedraht und dann den Strom schliessen, einen viel geringeren Schlag als beim Oeffnen des Stromkreises (freilich ist dieses Mass sehr verschieden von dem galvanometrischen, wie wir später sehen werden, für den vorliegenden Fall aber dennoch zutreffend).

Diese Schwächung des Batteriestromes ist besonders dann schädlich, wenn es sich darum handelt, möglichst rasch einen Elektromagnet herzustellen, mit einer Stärke, wie sie jener des Stromes entsprechen würde.

Abgesehen davon, dass das Eisen selbst sich nicht sofort vollkommen magnetisirt, wirkt auch zu Beginn ein schwächerer Strom, der erst nach 0·5 bis 0·75 Secunden zur vollen Stärke anwächst, was besonders schädlich bei grossen Elektromagneten und auch mit eine der Ursachen ist, weshalb dahin zielende Versuche, selbe zu Krafterzeugungsmaschinen zu verwenden, misslungen sind.

Derselbe Uebelstand tritt ein, wenn es sich um sehr lange Leitungen handelt, denn in diesen steigt die Stärke des Stromes erst nach und nach zur vollen Höhe an — eine Verzögerung, die 0·166 bis 0·2 Secunden betragen kann und Schuld daran trägt, dass die elektromagnetischen Motoren über eine gewisse, jedem Apparate eigenthümliche, von der Construction abhängende Geschwindigkeit nicht hinaus gelangen können, und auch auf langen Linien die telegraphische Correspondenz mehr Zeit erfordert, als auf kurzen.

Inductoren.

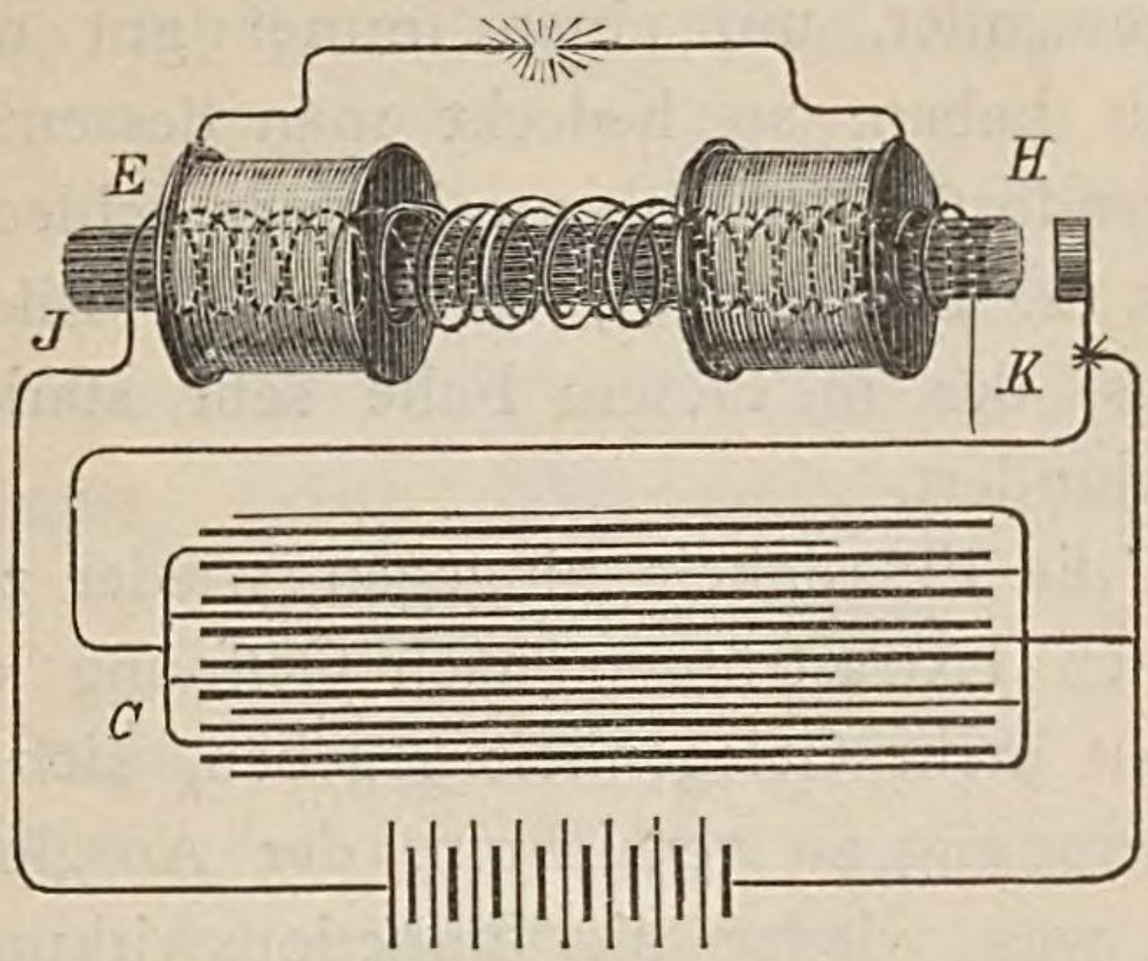
Zur zweckmässigen und andauernden Erzeugung von Inductionsströmen wurden einige Apparate zusammengestellt, welche im Wesentlichen aus den in Fig. 76 angedeuteten Bestandtheilen bestehen, aus einem Eisenkern *E*, der aus magnetisch isolirten Eisendrähten zusammengesetzt und mit Umwindungen eines stärkeren Drahtes versehen ist. Dieser Elektromagnet trägt den Namen: primäre Spule. Auf die Windungen dicken Drahtes folgen zahlreiche gut isolirte eines sehr feinen Drahtes, wodurch eine zweite: die secundäre Spule, entsteht. Zuweilen befinden sich diese Windungen auf einer besonderen Spule, welche auf und ab geschoben werden kann, damit man im Stande ist, die Stärke des Inductionsstromes zu verändern.

In dieser Form werden die Apparate von Aerzten angewendet; die vielen Abänderungen, welche diese Apparate gefunden haben, sind in einem späteren Bande beschrieben.

Ein fernerer Hauptbestandtheil ist der selbstthätige Unterbrecher, der Neef'sche oder Wagner'sche Hammer in der Fig. 76, rechts von der primären Spirale durch *H* bezeichnet, welcher aus einer Feder besteht, die mit einem Eisenstück versehen ist, das dem Elektromagnet gegenübersteht.

Die Feder ist mit dem einen Batteriepol durch Berührung in *K*, bleibend mit der Spirale verbunden.

Fig. 76.



Da das zweite Ende der Spirale zum anderen Batteriepol führt, ist der Stromkreis geschlossen, in Folge dessen wird der Eisenkern magnetisch und zieht das Eisenstück *H* an, dadurch tritt aber eine Unterbrechung des Stromkreises bei *K* ein. Nun wird der Kern unmagnetisch und *H* durch die Feder zurückgeführt, damit aber wieder Stromschluss erzeugt.

Es entstehen so in rascher Aufeinanderfolge Stromschlüsse und Unterbrechungen, wodurch zahlreiche Inductionsströme hervorgerufen werden.

Um die Elektricitätsmenge durch eine elektromotorische Kraft rasch zu bewegen, ist es nothwendig, den

Stromkreis recht plötzlich zu unterbrechen; jedoch darf eine gewisse Grenze nicht überschritten werden, weil sonst der Extrastrom bis zur nächsten Unterbrechung nicht völlig ablaufen, der Eisenkern also nicht das Maximum der magnetischen Kraft erreichen kann.

Es muss vor Allem vermieden werden, dass nach der Trennung noch Elektricität in Funkenform übergeht, was besonders stark geschieht, wenn die Contactstellen aus leichtflüchtigen Stoffen bestehen. Wird Quecksilber angewendet, um einen immer gut metallischen Contact zu haben, so bedeckt man dessen Oberfläche nach Poggendorff's Vorschlag mit einer schlechtleitenden Flüssigkeit, z. B. Alkohol, welcher die Bildung eines Lichtbogens, der in diesem Falle sehr stark auftreten würde, verhindert.

Leitet die Flüssigkeit hingegen wieder zu schlecht, so wird den Extraströmen nach Oeffnung des Stromkreises nicht mehr Gelegenheit gegeben, sich ausserhalb der Drahtwindung zu vernichten, der Ausgleich erfolgt im Draht, was wieder die Inductionswirkung bei der Unterbrechung schädigt.

Dem angedeuteten Uebelstande entgeht man durch die Anwendung eines Condensators *C*, dessen Belege mit den Contactstellen verbunden werden, wodurch die Dichte der Elektricität vermindert, somit die Bildung des Lichtbogens verhindert wird; der Condensator ist wie die Fig. 62 andeutet zusammengestellt.

Durch die Condensatorladung wird dagegen der Funke, welcher bei Stromschluss auftritt, verstärkt, was besonders bei kleineren Condensatoren so weit gehen kann, dass die Contacte zusammenschmelzen. Das Zwischenschalten eines Widerstandes von 10 Ohms ver-

mindert diesen Uebelstand, verlängert aber auch die Dauer der Unterbrechung.

Ueber die Art, in welcher die secundäre Spule gewickelt werden soll, dass die Windungen nicht über die ganze Spule hingehen dürfen, weil sonst zu leicht ein Ausgleich der Elektricitäten stattfindet, wäre noch Manches zu sagen, leider ist hierzu nicht der Raum vorhanden; dieser Gegenstand wird eingehender in einem späteren Bande besprochen werden, ebenso wie die Entladungen durch verdünnte Gase, welche sonst an diesem Orte zu besprechen wären.

Was zu beobachten ist, damit die Inductionsströme oder Extraströme möglichst kräftig auftreten.

Ohne weitere Begründung ist leicht verständlich, dass die Stärke des Inductionsstromes der Stärke des Magnets oder des primären Stromes proportional ist, ferner abhängt von der Entfernung des zu inducirenden Leiters von der primären Spirale oder dem Magnet, der Länge des Drahtes oder, besser gesagt, beider Drähte.

Die obigen Verhältnisse günstig zu gestalten, wäre eines der Mittel, eine Erhöhung der Stärke des Inductionsstromes zu erhalten; es giebt aber auch solche, welche eine Erniederung desselben trotz Beobachtung derselben verursachen könnten.

Wir wissen, dass der Inductionsstrom stärker wird, wenn wir in die zweite Spirale einen Eisenkern stecken; nun hat aber schon Sturgeon entdeckt, dass es nicht gleichgiltig sei, wie dieser Kern zusammengesetzt ist und

er fand, dass ein Bündel dünner Eisendrähte kräftiger wirkt, als ein voller Stab, trotzdem ja, wie wir an anderer Stelle erfahren haben, ein Drahtbündel nicht so kräftig magnetisch wird, wie ein massiver Kern.

Magnus verdanken wir die Erklärung dieser Thatsache. Es werden nämlich nicht nur in den Spiraldrähten, sondern auch im Kerne Inductionsströme hervorgerufen. Diese Inductionsströme nun sind entgegengesetzt gerichtet und induciren im Drahte ebenfalls Ströme, die nun jenen entgegenlaufen, welche die primäre Spirale erweckt, daher diese Ströme schwächt.

Diese Inductionsströme entstehen nun gar nicht, oder doch in geringerer Stärke, wenn der Kern aus einzelnen Drähten, die voneinander isolirt sind, oder einer Blechspirale besteht, deren Windungen voneinander elektrisch isolirt werden.

Besteht die Röhre, auf welche die secundäre Spirale aufgewickelt ist, aus einem Metallrohre, so würden auch in dessen Wandung schädliche Inductionsströme entstehen, weshalb man zur Herstellung dieser Röhren meistens Holz oder überhaupt einen Isolator verwendet. Da dies aber nicht immer thunlich ist, hilft man sich damit, dass man diese Metalltheile der Länge nach aufschneidet, was auch bei etwaigen Metallhüllen geschehen muss.

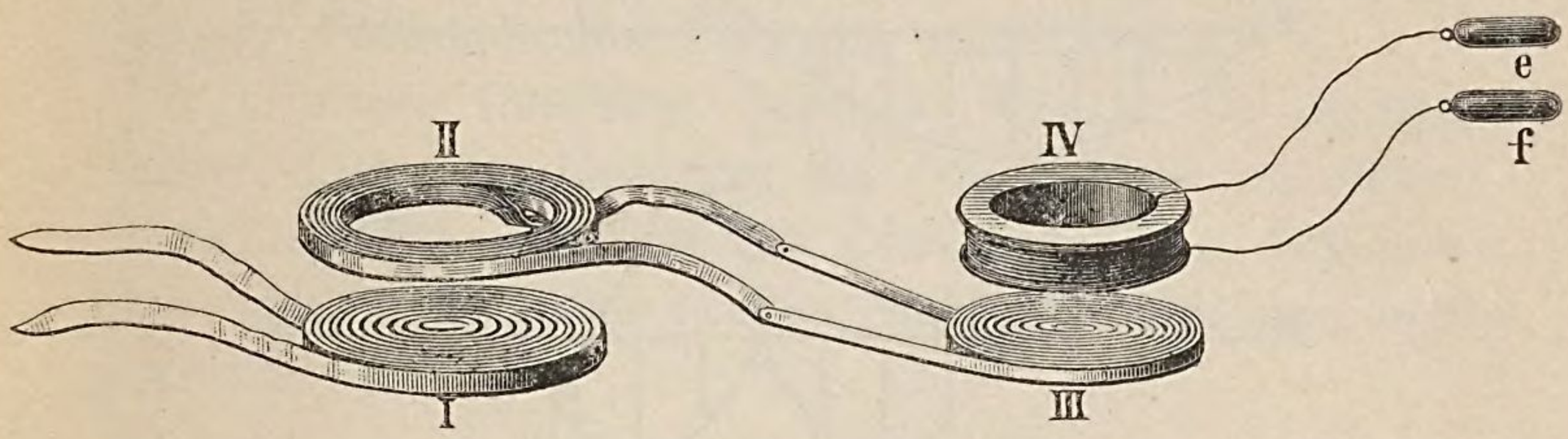
Inductionsströme höherer Ordnung.

Wir haben bereits erwähnt, dass die Inductionsströme, obwohl sie in ihren Eigenschaften den Strömen dieser wie anderer Elektricitätsquellen gleichkommen, sich von Batterieströmen durch ihre höhere elektromotorische Kraft und den beständigen Wechsel der Richtung unterscheiden.

Es kann uns daher nicht in Erstaunen versetzen, dass ein Inductionsstrom im Stande ist, abermals Inductionsströme in benachbarten Leitern zu erzeugen, ja wir haben Aehnliches bereits bei den Extraströmen besprochen.

Auf recht überzeugende Weise hat Henry das Auftreten derartiger secundärer und tertiärer oder Ströme zweiter und dritter Ordnung nachgewiesen, indem er scheibenartig gewundene Kupferbandspiralen, wie die Zeichnung andeutet, miteinander verband und in parallelen Ebenen anordnete (Fig. 77).

Fig. 77.

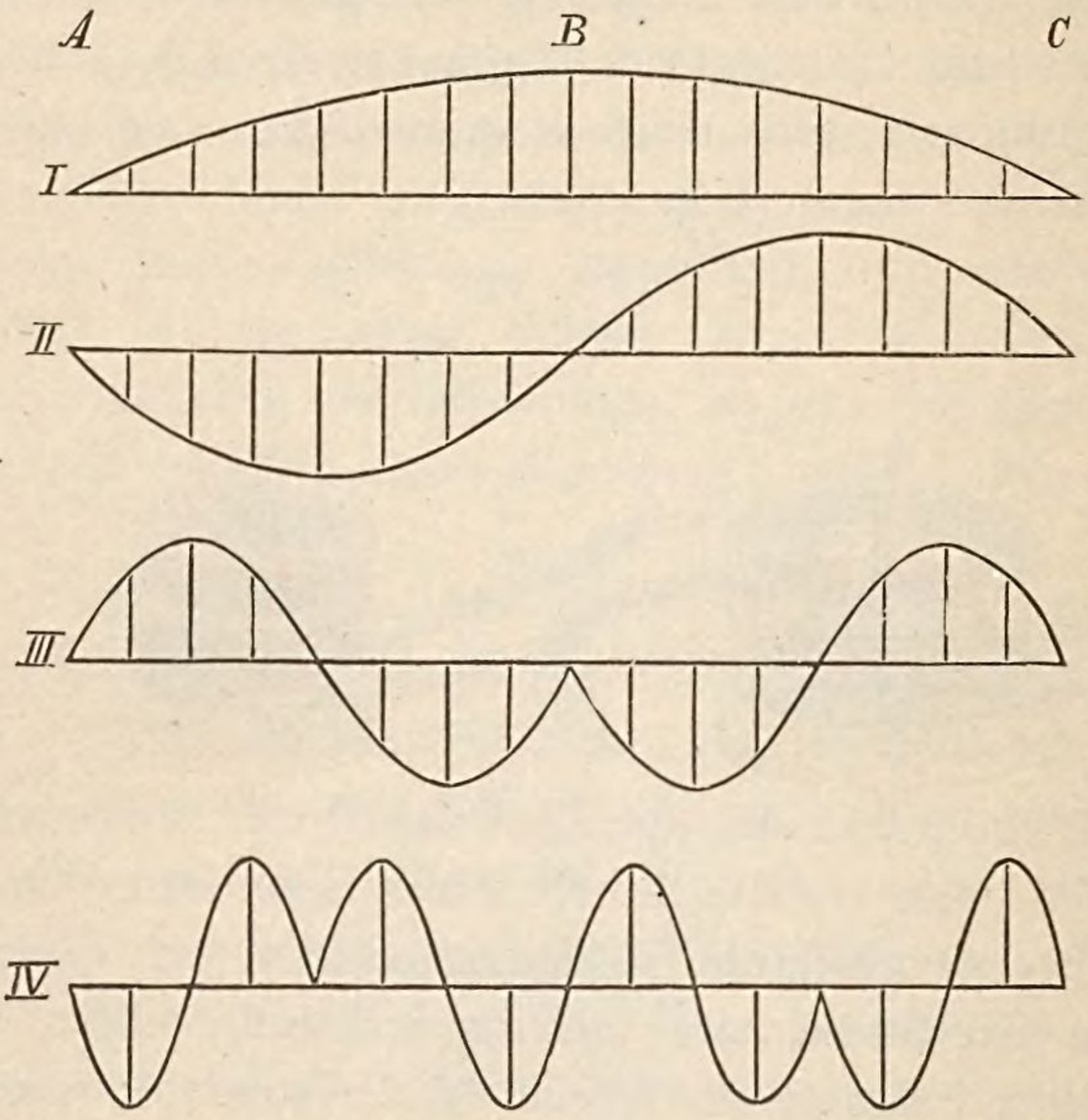


Während in der Spirale *I* der Strom im Anwachsen begriffen war, wurde in *II* ein Strom erster Ordnung von entgegengesetzter Richtung inducirt, bei seiner Abnahme ein Strom von gleicher Richtung; diese beiden Ströme verliefen in der Spirale *III*, welche der Spirale *IV* gegenüberlag, dadurch wurde in *IV* anfänglich ein Strom von gleicher Richtung mit dem Strome in Spirale *I*, sodann ein entgegengesetzt gerichteter, welcher mit dem abnehmenden in Spirale *II* übereinstimmte, hervorgerufen. Diese zwei Ströme entsprachen dem Anwachsen des Stromes in Spirale *I*, der Abnahme desselben entsprach ein gleichgerichteter in *II*, also ein entgegengesetzt gerichteter in Spirale *IV*, für das Ansteigen ein

gleichgerichteter, für das Abnehmen des Stromes in Spirale *I*.

Am klarsten werden diese Verhältnisse durch eine graphische Darstellung, welche wir denn auch in nachstehender Fig. 78 geben wollen, und zwar für tertiäre Induction oder für Inductionsströme der dritten Ordnung.

Fig. 78.



Die Höhe über der Horizontalen wurde bei allen Strömen gleichgenommen, die Ausdehnung längs derselben giebt die Zeitdauer an, während welcher die Ströme verlaufen, und zwar bezogen auf die Dauer des primären Stromes.

Je höher die Ordnung der Inductionsströme ist, desto kürzer wird, wie wir sehen, ihre Dauer, desto höher daher ihre elektromotorische Kraft.

Auch diese Inductionsströme geben wegen der wechselnden Richtung keinen Niederschlag im Kupfer-Voltameter, was auch zugleich ein Beweis ist, dass sie in quantitativer Beziehung einander gleich sind.

Das Gleiche gilt jedoch nicht bezüglich der Intensität derselben, wofür ein beweisender Versuch schon von Henry angestellt wurde, indem er durch den Inductionsstrom im Stande war, eine Stahlnadel bleibend zu magnetisiren.

Da es uns leicht möglich ist, aus der Polarität auf die Richtung des Stromes zu schliessen, der dieselbe veranlasst hat, so ergab sich bald, was auch spätere, auf andere Art angestellte Versuche bestätigten.

Grössere Intensität besitzen danach die Ströme erster, dritter etc. Ordnung, die dem Hauptstrom gleichgerichtet sind, während das Gleiche bei den entgegengesetzt gerichteten der zweiten, vierten etc. Ordnung nicht der Fall ist.

Rückwirkung der inducirten Ströme auf den Hervorrufer und dessen Bewegung.

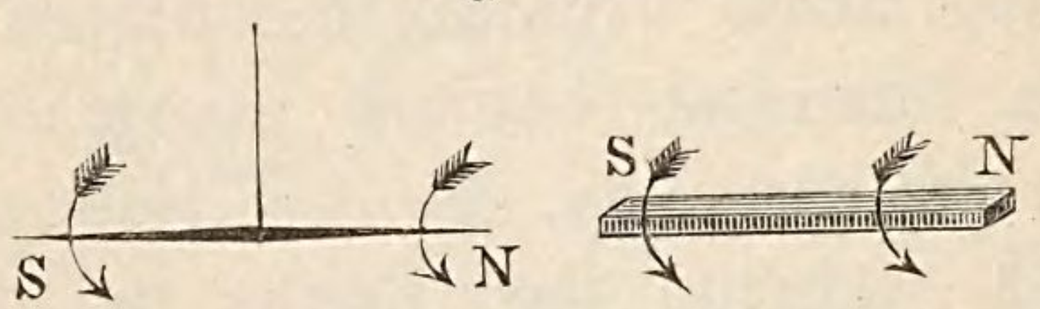
Lassen wir eine Magnetnadel schwingen, so wird sie nach einer gewissen Anzahl von Schwingungen, denen eine gewisse Zeitdauer entspricht, in ihre Ruhelage zurückkehren.

Nähern wir jedoch ein Stück Eisen, so werden wir uns leicht überzeugen können, dass die Dauer der Schwingungen abgenommen hat, die sogenannte Schwingungsdauer kleiner geworden ist. Wir erklären uns dies sehr leicht durch die Anziehung, welche das Eisenstück auf die Nadel ausübt. Diese Einwirkung können wir den Ampère'schen Strömen zuschreiben und hätten dann als

Ursache dieser Bewegungshemmung die Anziehung derselben zu nehmen (Fig. 79).

Sobald ein geschlossener Leiter einem Magnet genähert wird, entsteht, wie wir wissen, ein Strom; da es nun gleichgiltig ist, ob wir den Leiter dem Magnet oder diesen dem Leiter nähern oder entfernen, muss also auch eine Magnetnadel, die vor einem Leiter schwingt, Ströme induciren, diese Ströme werden aber zurückwirken müssen auf die Nadel selbst, dadurch aber Einfluss haben auf deren Schwingungsdauer und die Weite der Schwingungen.

Fig. 79.



In der That kann die blosse Annäherung eines Kupfercylinders diese Wirkung hervorbringen, und auffallend wird der Einfluss auf die Magnetnadel, sobald diese in einem Metallrahmen schwingt. Die Kraft, mit welcher die Nadel zurückgehalten wird, ist der Stromstärke und damit der Geschwindigkeit, mit der sie schwingt, proportional. Die Ausschläge selbst nehmen im Verlaufe der einzelnen Schwingungen nach der geometrischen Reihe ab. Von diesem Umstande macht man bei der Construction des Galvanometers sehr häufig Gebrauch, um nicht zu lange warten zu müssen, bis die Nadel in die Ruhelage zurückkehrt; man nennt eine dahin abzielende Vorrichtung die Dämpfung, und die Bewegung, welche eine der Dämpfung ausgesetzte Nadel vollführt, heisst eine aperiodische.

Näheres siehe im VIII. und X. Band der Elektrotechnischen Bibliothek.

Diese Inductionsströme heissen auch Foucault'sche Ströme, da sich Foucault eingehend mit ihrem Studium beschäftigt hat. Er versetzte, um ihre Wirkung recht deutlich zum Ausdruck zu bringen, eine Kupferscheibe in sehr rasche Drehung. So oft nun der Strom durch den Elektromagnet geschickt wurde, zwischen dessen Polen sich die Scheibe drehte, wurde ein grösserer Kraftaufwand an der Kurbel nöthig. Nach einiger Zeit zeigte sich auch, dass die Kupferscheibe sich erwärmte.

Derselbe Apparat kann dazu dienen, den Nachweis zu liefern, dass thatsächlich Inductionsströme entstehen. Streift nämlich zwischen den Magnetpolen eine Feder an den Rand der Scheibe und ist deren Axe mit ihr durch einen Draht verbunden, so kann man je nach der Drehungsrichtung an einem eingeschalteten Galvanometer beobachten, dass ein Strom von der Axe zum Rande der Scheibe geht oder umgekehrt.

Ist die Drahtleitung nicht vorhanden, in welcher wir soeben den Strom nachgewiesen haben, so kreisen die Ströme in der Scheibe selbst und vernichten sich gegenseitig, wodurch Wärme entsteht.

Diese Erscheinung ist deshalb wichtig, weil sie leicht zu mancherlei Nachtheilen, besonders bei den magneto- und dynamo-elektrischen Maschinen, Anlass geben kann.

Thermo-Elektricität.

Mehrmals sind wir schon in der Lage gewesen, aus besprochenen Erscheinungen gewisse Rückschlüsse zu ziehen, indem wir eine einfache Umkehr der Thatsachen voraussetzten. So z. B. kamen wir darauf, eine Stromerregung durch Nähern und Entfernen eines Magnets gegen einen geschlossenen Leiter zu vermuthen, weil umgekehrt der Strom im Stande ist, einen Magnet anzuziehen oder abzustossen. Wir haben auch erfahren, dass der Strom sich in Wärme umsetzt; es liegt daher nahe, zu fragen: Entsteht nicht auch ein Strom, sobald wir einen Leiter erwärmen?

Machen wir den Versuch, indem wir einen Draht, dessen beide Enden zu einem recht empfindlichen Galvanometer führen, erwärmen, so werden wir in den allermeisten Fällen finden, dass selbes das Vorhandensein eines galvanischen Stromes anzeigt.

Diese Beobachtung wurde schon von Nobili und Becquerel gemacht, welche fanden, dass der Strom um so kräftiger wird, je ungleichförmiger die molekulare Beschaffenheit des Leiters ist. Wird z. B. ein Knoten in einem Drahte gebildet, so bringt dies schon eine bedeutende Steigerung der Elektricitätserregung hervor, dabei fliesst der Strom in Zink und Eisen vom Knoten zur erwärmten Stelle in Platin; aber umgekehrt mehrmaliges Biegen, kurz Härtermachen einzelner Drahtstellen bringt, wie Magnus fand, gleichfalls eine Steigerung in der Elektricitäterregung hervor; ja es genügt, einzelne Stücke des Drahtes zu dehnen, in welchem Falle der Strom von dem weniger gedehnten Stücke zu jenem geht, das mehr dem Zuge ausgesetzt war — ein Gegenstand,

über welchen E. Cohn, W. Thomson und Le Roux eingehende Untersuchungen angestellt haben.

Glühen wir einen durch Ziehen gehärteten Draht an einzelnen Stellen aus, d. h. machen wir ihn an diesen Stellen weich, so geht der Strom von diesen zu den ungeglühten Stellen, wenn wir Platin, Silber, Kupfer, Stahl, Messing benutzen und die erwärmte Stelle als Ausgangspunkt nehmen, umgekehrt aber, sobald wir Zinn, Zink, Eisen, Neusilber derselben Behandlung unterwerfen.

Magnus dehnte seine Untersuchungen noch weiter aus und fand, dass zur Stromerregung genüge: zwei gleiche, aber verschieden warme Drähte miteinander in Berührung zu bringen. In diesem Falle fliesst der Strom in solcher Richtung, dass er, vom warmen Draht kommend, durch die Berührungsstelle zum kalten Draht geht.

Wir haben bis jezt zwei Hauptbedingungen kennen gelernt, welche an das Zustandekommen eines Stromes durch Wärme geknüpft sind: eine Verschiedenheit in der molekularen Beschaffenheit des Leiters und ein verschiedener Wärmegrad einzelner Stellen derselben.

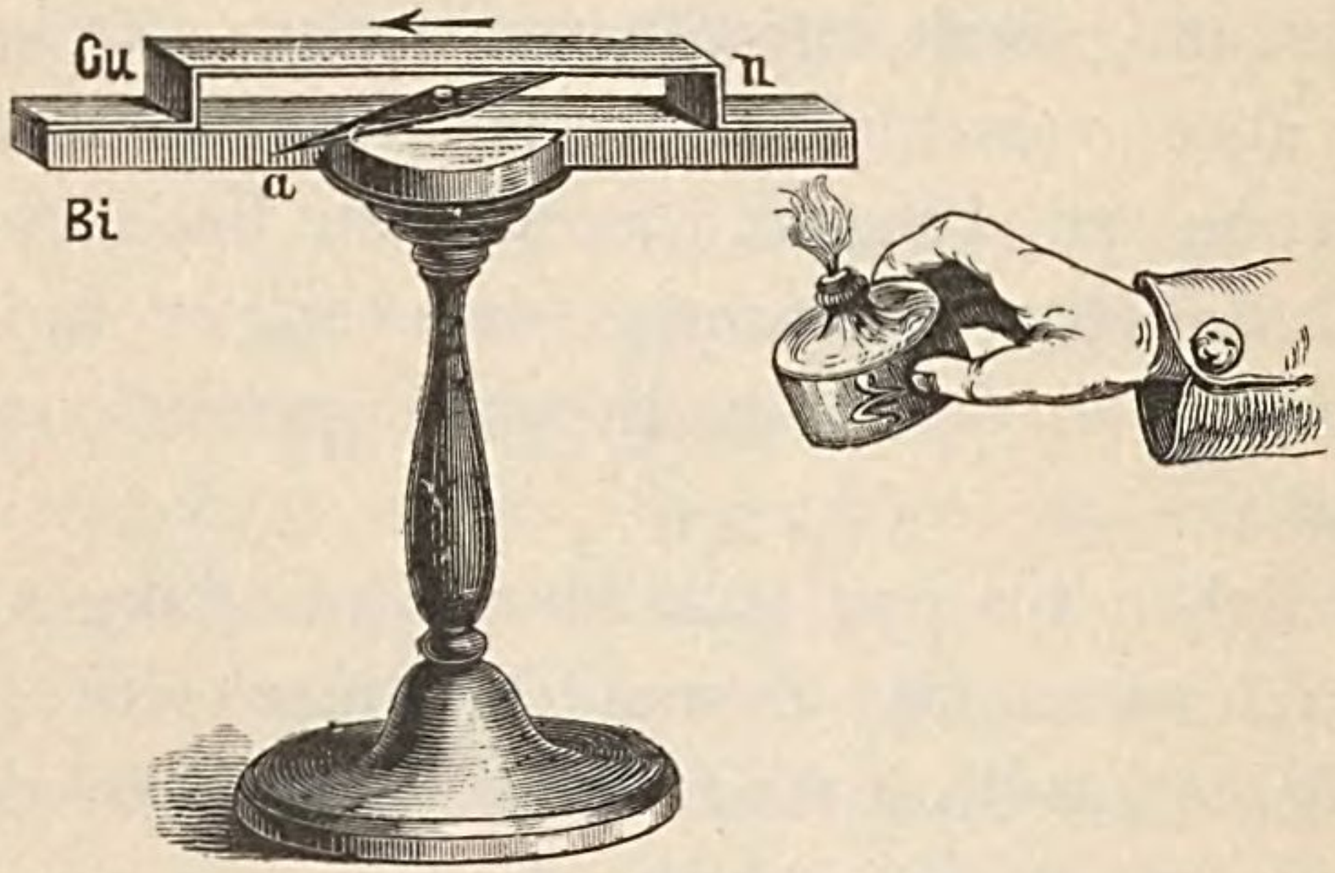
Nach dem bisher Gesagten liegt nahe, zu vermuthen, dass wir bei Anwendung zweier materiell verschiedener Leiter eine Steigerung der Elektricitätserregung erhalten müssen.

Der verdienstvolle Physiker Seebeck war es, der schon vor 60 Jahren diese Entdeckung machte, indem er einen Wismuthstab, wie die Fig. 80 andeutet, mit einem Kupferbügel versah und erwärmte; er erhielt einen Ausschlag der unter dem Bügel auf einer Stahlspitze ruhenden Magnetnadel.

Nach diesem Versuche ist uns auch klar, warum wir bei Besprechung des Volta'schen Spannungsgesetzes besonders betonten, dass in einem geschlossenen Kreise verschiedener Leiter kein Strom kreist, sobald dieselben gleiche Temperatur besitzen.

In Verfolgung seines Versuches fand Seebeck bald, dass nicht alle Metalle so kräftig, andere aber noch kräftiger wirken als die von ihm angewendeten. Indem er nun die Metalle nach ihrer Eignung, einen Strom zu

Fig. 80.



erzeugen, in eine Reihe zusammenstellte, ergab sich, dass diese die Eigenschaft besitze, über die Stärke und Richtung des Stromes Aufschluss zu geben, der entsteht, wenn die Berührungsstelle zweier Glieder dieser Reihe erwärmt wird; der erregte Strom geht aber aus dem Metalle, welches näher dem — Ende steht, über die erwärmte Berührungsstelle gegen jenes mit + bezeichnete.

Wir geben nachstehend zwei Reihen, deren eine von Seebeck herrührt, während die zweite von Hankel zusammengestellt wurde.

+	Antimon	Antimon
	Eisen	Eisen
	Zink	Silber
	Silber	Zink
	Gold	Blei
	Zinn	Zinn
	Blei	Kupfer
	Quecksilber	Gold
	Kupfer	Platin
	Platin	Quecksilber
—	Wismuth	Wismuth

Wenden wir das Gesetz auf das in der Figur dargestellte Element an, so ergiebt sich, dass der Strom vom Wismuthstab in den Kupferbügel geht, sobald wir die erwärmte Stelle in Betracht ziehen. Machen wir die Stelle jedoch kälter als die Umgebung, wodurch die Berührungsstelle am anderen Ende bei *B* erwärmt erscheint, so erhalten wir einen Strom von umgekehrter Richtung, also auch einen entgegengesetzten Nadelausschlag.

Trotzdem beide Reihen gewiss mit grösster Sorgfalt zusammengestellt wurden, zeigen sich doch namhafte Abweichungen in der Aufeinanderfolge der Metalle.

Dies kann uns nicht Wunder nehmen, wenn wir bedenken, dass die molekulare Verschiedenheit schon Einfluss nimmt, somit gewiss auch Beimischungen verändernd wirken müssen — ein Umstand, dessen Tragweite wir schon bei Besprechung des Leitungsvermögens kennen gelernt haben. Als Seebeck eine Legirung aus gleichen Theilen Zinn und Wismuth herstellte, ergab sich, dass selbe zwischen Silber und Zink eingereiht werden musste und ein Zusatz von weiteren zwei Theilen Wismuth, wodurch das Verhältniss zwischen Zinn und diesem

Metalle wie 1 : 3 wurde, die Einschaltung zwischen Antimon und Eisen rechtfertigte.

Bilden wir eine Kette aus mehreren Gliedern der Reihe, erwärmen aber nur eine Berührungsstelle, so erhalten wir denselben Strom, der dann erregt worden wäre, wenn nur die beiden an der erwärmten Stelle sich berührenden Metalle allein den Stromkreis gebildet hätten. Erhitzen wir jedoch zwei Stellen, an welchen zwei Metalle aneinandergrenzen, von denen eines in beiden Fällen das gleiche ist, so wird der Strom jenem entsprechen, welchen wir erhalten hätten, wenn sich die beiden verschiedenen Metalle unmittelbar berührt hätten, d. h. hätten wir erhitzt Eisen-Silber und Silber-Wismuth, so würden wir einen Strom erhalten, der Eisen-Wismuth entspricht. Dieser Umstand ist für die Durchführung thermo-elektrischer Elemente sehr wichtig, weil die Natur der verwendeten Stoffe sehr oft nicht zulässt, die Löthstellen einer Erwärmung auszusetzen. Nach dem gegebenen Beispiele werden wir in diesem Falle das Silber erhitzen.

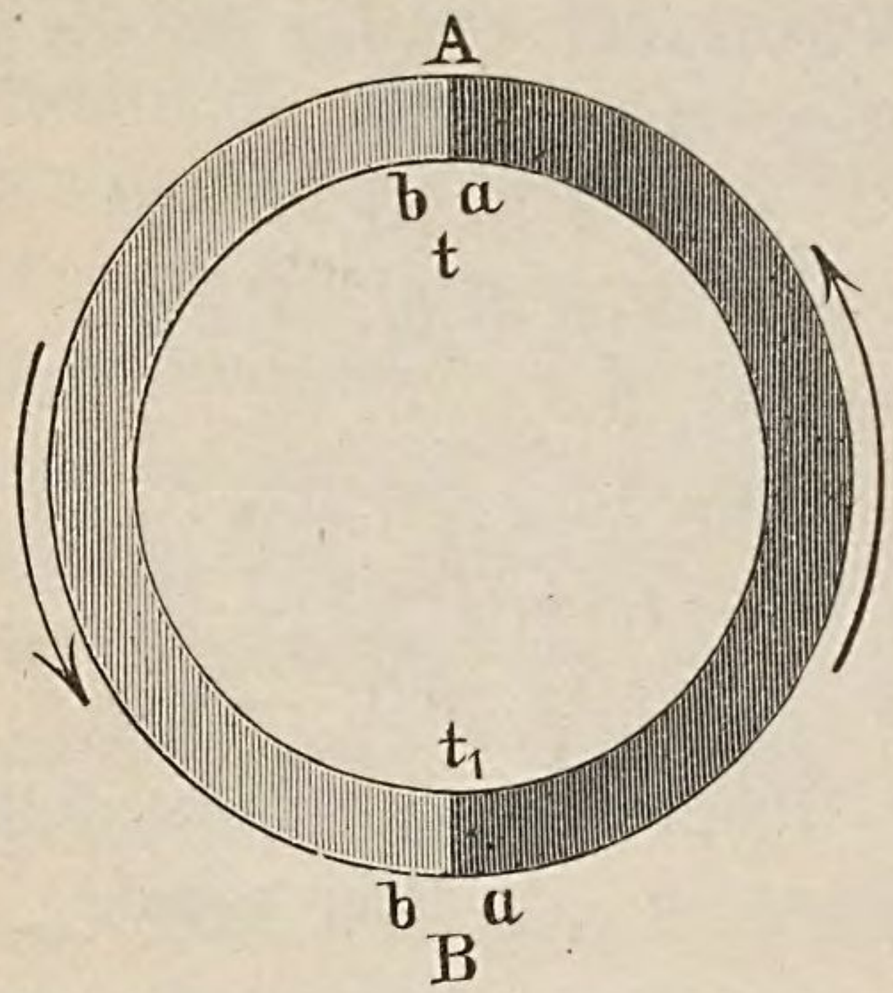
Stefan bediente sich ähnlicher Verfahren, um verschiedene Mineralien auf ihr thermo-elektrisches Verhalten zu prüfen, indem er sie auf einen Kupferstreifen legte und dessen hervorragendes Ende erwärmte.

Einfluss des Wärmegrades.

Gerade so wie die Volta'sche Spannungsreihe nur insolange Giltigkeit hat, als wir die Metalle in verdünnte Schwefelsäure tauchen lassen, bewährt sich die thermo-

elektrische nur dann, wenn wir einen gewissen Wärmegrad nicht überschreiten, weil dann sogar oft Umkehr der Stromrichtung eintritt. Avenarius und Thomson fanden, dass es für die verschiedenen Zusammenstellungen immer eine sogenannte Neutraltemperatur giebt, bei welcher keine Strombildung stattfindet. Indem er die halbe Summe der Löthstelltemperaturen für einen solchen Fall bei Silber und Eisen ermittelte, fand er die Zahl 228·5 für Eisen-Kupfer 275·8 Grad C

Fig. 81.



Die Erklärung der Ursache, welche dieser Erscheinung zu Grunde liegt, hängt mit der Theorie der Thermo-Elektricität zusammen, weshalb wir diese jetzt folgen lassen wollen.

Theorie der Thermo-Elektricität.

Betrachten wir die Erscheinungen auf Grundlage der Contacttheorie, derzufolge keine Elektricitätserregung stattfindet, sobald die Berührungsstellen gleichen Wärme-

grad haben, weil ja dann die Potentialdifferenzen $Pa - Pb$ gleich wären, wenn wir mit Pa und Pb die Potentiale an den beiden Metallen an der Berührungsstelle bezeichnen, d. h. wir $Pa - Pb = Pa - Pb$ hätten für irgend einen Wärmegrad bei A, würden wir dann haben

$$Pa - Pb = e \quad \text{und für einen anderen bei } B$$
$$\underline{Pa - Pb = e_1} \quad \text{somit}$$
$$E = e_1 - e$$

Unter der Voraussetzung, dass die Grösse der Contact-Elektricität einen verschieden grossen Werth erhält, je nach dem Wärmegrad, können wir für e und e_1 auch die folgenden Ausdrücke setzen

$$e = a + bt + ct^2$$
$$e_1 = a + bt_1 + ct_1^2$$

wodurch E übergeht in

$$E = a + bt_1 + ct_1^2 - a - bt - ct^2$$
$$= b(t_1 - t) + c(t_1^2 - t^2)$$
$$E = [b + c(t_1 + t)](t_1 - t).$$

Aus dieser Gleichung geht unzweifelhaft hervor: dass $E = 0$, wenn $t_1 = t$ oder sobald

$$b = -c(t_1 + t) \text{ oder}$$
$$\frac{-b}{c} = t_1 + t$$
$$\frac{-b}{2c} = \frac{(t_1 + t)}{2}, \quad \text{d. i. die im vorigen}$$

Absatz besprochene halbe Summe der Temperaturen.

Es wird also auch die Elektricitätserregung bei ungleicher Grösse der Wärmegrade beider Löthstellen gleich Null sein, wenn die halbe Summe gleich ist der Mittel-Temperatur $\frac{-b}{2c}$.

Für ein Element Eisen-Kupfer fand Avenarius

$$b = 0{\cdot}9653$$
$$c = -\ 0{\cdot}00175$$

woraus sich ergiebt $$\frac{-\ 0{\cdot}9653}{2 \times -\ 0{\cdot}00175} = 275{\cdot}8$$

also ist seine Neutraltemperatur $275{\cdot}8^0$ C., wie wir schon an anderer Stelle angegeben haben.

Fassen wir das Thermo-Element als eine Art thermodynamischer Maschine auf, deren Arbeitsleistung darin besteht, dass sie eine gewisse Elektricitätsmenge auf ein höheres Potential hebt, oder, wie Clausius, dem diese Betrachtung entstammt, sagt: „dass die Molekular-Bewegung, welche wir Wärme nennen, die Elektricität von dem einen Stoff zum anderen zu treiben strebt und nur durch die entgegenwirkende Kraft der beiden dadurch gebildeten elektrischen Schichten, wenn diese eine gewisse Dichtigkeit erreicht haben, daran verhindert werden kann, so ergiebt sich Folgendes: Bei der Arbeit wird eine gewisse Wärmemenge aJe verbraucht, wenn wir von der Temperatur t_1 sprechen.

Wir wissen, dass nur dann die Elektricitätsmenge dauernd in Bewegung bleibt, wenn der Leiter einen Ort mit höherem Potential mit einem solchen, der ein niedrigeres Potential besitzt, verbindet, müssen daher annehmen, dass an der zweiten Berührungsstelle e constant kleiner als e_1 erhalten werden, also eine Wärmemenge aJe, welche frei wird, beseitigt werden muss.

Die Wärmemenge, welche also im Stromkreis wieder frei werden kann, wird dargestellt werden können durch die Differenz der beiden Wärmemengen $= aJ\ (e_1 - e)$, sie ist diejenige Wärmemenge, welche der Stromarbeit entspricht.

Die Verfolgung dieser Betrachtung würde uns dahin führen, dass auch die Stromstärke der Temperaturdifferenz unserer Berührungsstelle proportional ist, was aber nur innerhalb gewisser Grenzen, wie wir oben gesehen haben, der Fall ist. Diesem Widerspruch zu begegnen, sind Clausius und Thomson davon abgegangen, von den Berührungsstellen allein vorauszusetzen, dass dort eine Elektricitätserregung sich vollzieht, sie haben angenommen, diese fände in den Leitern statt, wo sie an verschiedenen Orten verschiedene Temperaturen haben.

Sobald wir jedoch den Boden der Contacttheorie verlassen, müssen wir uns bemühen, die Elektricitätserregung auf andere Weise zu erklären.

Dies ist durch Fr. Kohlrausch geschehen unter Zuhilfenahme der Voraussetzung, dass es der elektrische Strom ist, welcher die Wärme bewegt, und dieser mit jedem Wärmestrom verbunden sei.

Nach dieser Voraussetzung wird die Stromstärke $J = a\,W$ sein, wenn wir unter W jene Wärmemenge verstehen, die in der Zeiteinheit ein Leiterstück s durchströmt, an dessen Endquerschnitten die Temperaturen t_1 und t sind, während a eine Constante bedeutet, deren Grösse von der Natur des Leiters abhängt.

Den Widerstand $\mathfrak{W}$ des Leiterstückes können wir bekanntlich ausdrücken durch

$$= s\,\frac{1}{L\,q},$$

wenn L sein Leitungsvermögen und q seinen Querschnitt bedeutet.

Hieraus ergiebt sich

$$e = J\,\mathfrak{W} = s\,\frac{1}{q\;L}\,a\,\mathfrak{W}$$

W können wir aber auch finden, wenn uns das Wärmeleitungsvermögen, das wir Lw nennen wollen, gegeben ist; wir haben dann

$$W = \frac{t_1 - t}{s} q\, Lw \quad \text{und}$$

$$J\mathfrak{W} = \frac{a}{q\, L} . s . \frac{t_1 - t}{s}\, q\, Lw$$

$$= \frac{a\ (t_1 - t)\ L\, w}{L} = a\, \frac{L\, w}{L}\ (t_1 - t).$$

da $a\, \frac{L\, w}{L}$ für jeden Körper constant ist, können wir diesen Ausdruck $= d$ setzen und haben so

$$J\mathfrak{W} = d\ (t_1 - t).$$

Die Constante d, welche auch die thermo-elektrische Constante genannt wird, besitzt, wie aus der Formel hervorgeht, für die verschiedenen Leiter abweichende Werthe.

Betrachten wir unser Thermo-Element, an dessen Löthstellen solche Temperaturen t und t_1 herrschen, dass die Wärme von t_1 nach t strömt, so wird bei A ein elektrischer Strom entstehen, dessen elektromotorische Kraft

$$e_a = d_a\ (t_1 - t) \text{ ist;}$$

für die zweite Berührungsstelle haben wir dann

$$e_b = d_b\ (t_1 - t),$$

welches e_b von e_a in Abzug gebracht werden muss, wenn wir die Grösse der sich für den ganzen Stromkreis ergebenden elektromotorischen Kraft kennen lernen wollen, diese ist

$$E = (d_b - d_a)\,(t_1 - t).$$

Das Bestreben von E geht dahin, die Elektricität von der erwärmten Löthstelle weg gegen jenes Metall zu treiben, dessen thermo-elektrische Constante einen grösseren Werth besitzt.

Um die Abhängigkeit des E von der Grösse der Mitteltemperatur und weiter den Umstand zu erklären, warum die elektromotorische Kraft nicht durchwegs dem Temperaturunterschiede proportional ist, können wir annehmen, dass d bei verschiedenen Wärmegraden zu- oder abnimmt.

Thermo-elektrische Ströme zwischen tropfbar und gasförmig flüssigen Stoffen.

Ebenso wie Metalldrähte, die harte und weiche Stellen aufweisen, einen thermo-elektrischen Strom liefern, geben auch zwei verschieden stark gesättigte Flüssigkeiten einen schwachen Strom, sobald sie erwärmt werden, dabei geht dieser Strom von der weniger gesättigten Lösung zur gesättigteren.

Verschiedene Flüssigkeiten zeigen eine kräftigere Erregung, und übertrifft z. B. die elektromotorische Kraft eines Kupfersulfat-Kaliumsulfat-Elementes jene eines Kupfer-Neusilber-Elementes um das Sechsfache für gleiche Unterschiede des Wärmegrades.

Schon bei Besprechung des Volta'schen Bogens haben wir darauf hingedeutet, dass er wahrscheinlich die Bildungsstätte thermo-elektrischer Ströme sei.

Als deutlicher Beweis für das Entstehen thermo-elektrischer Ströme in Gasen dient folgender Versuch.

Halten wir zwei Platindrähte, welche gleiche Querschnitte haben, in gleicher Höhe in eine Flamme, so wird das mit ihren anderen Enden verbundene Galvanometer selten einen Ausschlag zeigen; besitzt jedoch der eine der Drähte mehr Masse, so erfolgt sofort eine Nadelablenkung, der stärkere Draht erwärmt sich eben weniger stark und wir haben dann eine Gasschichte zwischen zwei verschieden heissen Medien gerade wie bei einem Thermo-Elemente, das aus zwei Metallen besteht.

Da auch zwischen den Kohlen bei den Volta'schen Bogen ähnliche Verhältnisse herrschen, ist es wohl erlaubt, auch das Vorhandensein von Thermoströmen zu vermuthen.

Peltier's Versuch.

Bevor wir den Gegenstand verlassen, wollen wir von einer Erscheinung Erwähnung thun, welche dem Joule'schen Gesetze zu widersprechen scheint und zuerst von Peltier untersucht wurde.

Leitet man nämlich durch ein Thermo-Element den Strom einer Säule in jener Richtung, in welcher der eigene Strom der Säule kreisen würde, so sinkt die Temperatur der einen Löthstelle. Wir haben hier die genaue Umkehr der Stromerregung durch Abkühlung der Löthstelle. Fliesst der Strom entgegengesetzt, so findet ebenso eine Erwärmung statt, als auch dann, wenn der hineingesendete Strom zu stark ist, nur erhält man dann das einemal die Differenz zwischen der Joule-schen Wärme und der Peltier'schen Abkühlung, das zweitemal die Summe beider Erwärmungen.

Aus dieser Erscheinung lässt sich ganz leicht ableiten, dass der Strom einer Thermosäule selbst bestrebt sein wird, die erkaltete Stelle zu erwärmen, die erhitzte abzukühlen, also seinen Entstehungsursachen entgegenwirken wird, was an die sogenannte Polarisation bei den galvanischen Elementen erinnert.

Schlusswost.

Obgleich die Verlagsbuchhandlung mit anerkennenswerther Bereitwilligkeit eine Vermehrung der Bogenzahl zugestand, wofür der Verfasser sich gedrängt fühlt, an dieser Stelle den gebührenden Dank abzustatten, war es dennoch unmöglich, einige nicht unwichtige Erscheinungen eingehender zu besprechen, und sieht sich daher der Verfasser genöthigt, um dieselben nicht ganz zu übergehen, ihrer wenigstens im Schlussworte zu gedenken, was um so leichter ausführbar ist, als sie alle den letzten Capiteln entstammen.

Wir wollen vor Allem die merkwürdige Erscheinung erwähnen, welche Wertheim an Eisenstäben beobachtete, als er selbe durch den Strom magnetisirte, dass sich nämlich dabei Töne vernehmen lassen — ein Umstand, den Reis zur Herstellung seines Telephones benutzte. Ferner wurde nicht erwähnt, dass es Körper giebt, in welchen bei der Annäherung an einen Magnetpol nicht die entgegengesetzte, sondern die gleichnamige Polarität erregt wird, weshalb sie eine Abstossung erfahren. Diese Körper wurden im Gegensatze zu jenen, welche dem Eisen ähnlich angezogen und paramagnetisch genannt werden, mit der Bezeichnung diamagnetisch belegt.

Gänzlich übergangen wurden verschiedene Elektricitätserregungen, wie z. B. durch Capillarwirkung, durch

Druck etc. etc., ebenso auch die thierische wie atmophärische Elektricität, theils weil sie wohl an anderem Orte besprochen werden dürften, theils weil sie nicht in praktischer Verwendung stehen.

Auch der in neuerer Zeit in immer regerer Aufnahme begriffenen unipolaren Induction wurde nicht besonders gedacht; nach dem, was wir über die Kraftlinien gesagt haben, bedarf sie wohl auch keiner weiteren Erläuterung, ebensowenig wie die Erdinduction, der auch keine besondere Erwähnung geschah.

Dass nicht eine Besprechung der absoluten magnetischen und elektrischen Masssysteme durchgeführt wurde, hat seinen Grund darin, weil dieser Gegenstand in verschiedenen Bänden der Elektro-technischen Bibliothek schon behandelt ist; die nöthigen Grundbegriffe zum Verständniss derselben sind jedoch an den geeigneten Stellen enthalten, das Gleiche gilt von der Berechnung der Arbeit, welche — ein Strom zu leisten im Stande ist, oder vom Arbeitsaufwand, der bei einer Erzeugung desselben nothwendig wird — Fragen, die ebenso wie Nutzeffectberechnungen auch über den Rahmen der Grundlehren hinausgehen und an den geeigneten Stellen in anderen Bänden besprochen wurden. Schmeichelt sich der Verfasser auch nicht damit, die ihm gestellte Aufgabe glücklich gelöst zu haben, so kann er sich der Hoffnung nicht verschliessen, dass der geschätzte Leser das Buch nicht ganz unbefriedigt aus der Hand legen und das ernste Streben, den Ansprüchen gerecht zu werden, dessen Spuren wohl überall zu finden sein dürften, Anerkennung finden wird, mit welcher Hoffnung der Verfasser das Buch, selbes nochmals dem Wohlwollen des Lesers empfehlend, schliesst.

Tafeln.

Leitungsfähigkeit fester Körper für Elektricität.

(Ed. Becquerel, *Annales de chimie et de physique,* 1846.)

Bei 12 Grad Celsius	Gehämmertes Metall	Geglühtes Metall
Silber rein (aus Chlorid) . . .	93·448	100·00
Kupfer rein, galvanoplastisch . .	89·084	91·439
Gold rein	64·385	—
Cadmium	24·574	—
Zink	24·164	—
Zinn	13·656	—
Palladium	13·977	—
Eisen	12·124	12·246
Blei	8·245	—
Platin	8·042	8·147
Quecksilber bei 14 Grad Celsius .	1·8017	—

Aenderungen mit der Temperatur.

Körper	Leitungsfähigkeit bei 0 Grad	Leitungsfähigkeit bei 100 Grad	Coëfficient für 1 Grad
Silber (geglüht)	100	71·316	0·004022
Kupfer „	91·517	64·919	0·005097
Gold „	64·960	48·489	0·003397
Cadmium	24·579	517·06	0·004040
Zink	24·063	17·596	0·003675
Zinn	14·014	8·657	0·006188
Eisen (geglüht)	12·350	8·387	0·004726
Blei	8·277	5·761	0·004349
Platin (geglüht)	7·933	6·688	0·001861
Quecksilber (destillirt) . .	1·7387	1·5749	0·001040

Specifische Widerstände bei o Grad bestimmt von Matthiessen.

(Die Tafel von Fleeming Jenkin berechnet.)

Stoffe	Widerstand eines Würfels von 1 Cm. Seite zwischen den gegenüberliegenden Flächen	Widerstand eines Drahtes von 1 M. Länge und 1 Mm. Durchmesser	Widerstand eines Drahtes von 1 M. Länge, welcher 1 Gr. wiegt .
Metalle	Mirco-Ohm.	Ohmad	Ohmad
Silber geglüht	1·521	0·01937	0·1544
„ gehämmert	1·652	0·02103	0·1680
Kupfer geglüht	1·616	0·02057	0·1440
„ gehämmert . . .	1·652	0·02104	0·1469
Gold geglüht	2·081	0·02650	0·4080
„ gehämmert	2·118	0·02697	0·4150
Aluminium geglüht . . .	2·945	0·03751	0·0757
Zink gehämmert	5·689	0·07244	0·4067
Platin geglüht	9·158	0·1166	1·96
Eisen geglüht	9·825	0·1251	0·7654
Nickel geglüht	12·60	0·1604	1·071
Zinn gehämmert	13·36	0·1701	0·9738
Blei	19·85	0·2526	2·257
Antimon gehämmert . . .	35·90	0·4571	2·411
Wismuth gehämmert . .	132·7	1·689	13·03
Quecksilber	99·74	1·2247	13·06
Packfong	—	0·2695	—
Phosporbronze nach Weiler's Angabe	—	0·060	—

Aus Wiedemann's Elektricitätslehre, I. Bd. S. 540.,

Untersuchte Stoffe	Specifische Leitungsfähigkeit		Bemerkungen	Nach
		Hg = 1	Die Leitungsfähigkeit der Kohlen nimmt mit der Temperaturerhöhung zu	Matthiessen
Graphit	425—24 . 10 − 4			Matthiessen
Gaskohle	117 . 10 − 4			—
Bunsen's Kohle	244 . 10 − 4			—
		Hg = 1		Beetz
Nürnberger Batteriekohle .	17 . 10 − 6			—
Münchener Retortenkohle .	110 . 10 − 4		enthalten Beimischungen	—
Kohlenplatte v. Ruhmkorff	138 . 10 − 4			—
Kohlenstab von Duboscq .	288 . 10 − 4			—
Graphitstab von Faber . .	455 . 10 − 5			—
Pyrolusit	123 . 10 − 6		Die Leitungsfähigkeit nimmt mit der Temperatur zu	—
Manganit	16 . 10 − 7			—

Untersuchte Stoffe	Specifische Widerstände				Bemerkungen	Nach
	bei 0^0	α 10^0	β 10^0	Hg=1	$Wt = Wo\ (1 + \alpha t + \beta t^2)$	Muravka
Stift von Faber	952·0	— 588	+ 434			—
Gaudoin's Lichtkohle . .	55·15	— 415	+ 129			—
Pariser Retortenkohle . .	52·23					—
Künstliche Lichtkohlen .	48·44	— 405				—
Künstliche Lichtkohlen .	42·90	— 425	+ 915			—
Künstliche Kohlen von Kaiser und Schmidt . .	41·17	— 370			Sibirischer Graphit	—
Künstliche Kohlen von Heilmann und Comp. . . .	39·10	— 156	+ 524			—
Sibirischer Graphit . . .	36·86	— 240				—
Sibirischer Graphit . . .	12·20	— 739	— 273			—

Leitungsfähigkeit verschiedener Flüssigkeiten nach Messungen dass die des Queck-

(Wiedemann's Lehre von

Chlorkalium	5	10	15
Specifisches Gewicht . .	1·0308	1·0638	1·0978
Leitungsfähigkeit	645	1271	1889
Chlorammonium	5	10	15
Specifisches Gewicht . .	1·0142	1·0289	1·0430
Leitungsfähigkeit	859	1661	2419
Chlornatrium	5	10	15
Specifisches Gewicht . .	1·0345	1·0707	1·1087
Leitungsfähigkeit	—	—	—
Kaliumnitrat	5	10	15
Specifisches Gewicht . .	1·0305	1·0632	1·097
Leitungsfähigkeit	426	786	1112
Ammoniumnitrat	5	10	20
Specifisches Gewicht . .	1·0201	1·0419	1·0860
Leitungsfähigkeit	553	1047	1930
Natriumnitrat	5	10	20
Specifisches Gewicht . .	1·0327	1·0681	1·1435
Leitungsfähigkeit	408	732	1219
Magnesiumnitrat	5	10	15
Specifisches Gewicht . .	1 0378	1·0763	1·1181
Leitungsfähigkeit	410	720	955
Kaliumsulfat	5	10	—
Specifisches Gewicht . .	1 0395	1·0813	—
Leitungsfähigkeit	429	806	—
Ammoniumsulfat	5	10	20
Specifisches Gewicht . .	1·0292	1·0581	1·1160
Leitungsfähigkeit	517	947	1667
Magnesiumsulfat . . .	5	10	15
Specifisches Gewicht . .	1·0510	1·1052	1·1602
Leitungsfähigkeit	247	388	450
Zinksulfat	5	10	15
Specifisches Gewicht . .	1 0509	1·1069	1·1675
Leitungsfähigkeit	179	301	389
Kupfersulfat	2·5	5	10
Specifisches Gewicht . .	1·0246	1·0513	1·1073
Leitungsfähigkeit	102	177	300

von F. Kohlrausch und Grotrian bei 18 Grad unter der Annahme, silbers eine 10^8fache sei.
der Elektricität, I. Bd., 1882.)

20	25	—	—	Lösungsprocente
1·1335	1·1408	—	—	Temperatur 18^0
2504	2628	—	—	
20	25	—	—	Lösungsprocente
1·0571	1·0710	—	—	Temperatur 18^0
3147	3765	—	—	
20	25	26	26·2	Lösungsprocente
1·1477	1·1898	1·1982	1·2014	Temperatur 18^0
—	—	—	—	
20	22	—	—	Lösungsprocente
1·133	1·148	—	—	Temperatur 18^0
1411	1523	—	—	
30	40	50	—	Lösungsprocente
1·1304	1·1780	1·2279	—	Temperatur 15^0
2660	3158	3402	—	
30	—	—	—	Lösungsprocente
1·2278	—	—	—	Temperatur 18^0
1502	—	—	—	
17	—	—	—	Lösungsprocente
1·1372	—	—	—	Temperatur 18^0
1031	—	—	—	
—	—	—	—	Lösungsprocente
—	—	—	—	Temperatur 18^0
—	—	—	—	
30	31	—	—	Lösungsprocente
1·1730	1·1787	—	—	Temperatur 15^0
2148	2175	—	—	
20	25	—	—	Lösungsprocente
1·2200	1·2861	—	—	Temperatur 15^0
446	389	—	—	
20	25	30	—	Lösungsprocente
1·2323	1·3045	1·3788	—	Temperatur 18^0
439	450	416	—	
15	17·5	—	—	Lösungsprocente
1·1675	1·2003	—	—	Temperatur 18^0
395	430	—	—	

Leitungsfähigkeit verschiedener Flüssigkeiten nach Messungen dass die des Queck-

(Wiedemann's Lehre von

Kaliumoxydhydrat . . .	4 8	8·4	12 6	16·8
Specifisches Gewicht . .	1·0382	1·0776	1·1177	1·1588
Leitungsfähigkeit	1372	2552	3526	4271
Natriumoxydhydrat . . .	2·5	5	10	15
Specifisches Gewicht . .	1·0280	1·0568	1·1131	1·1700
Leitungsfähigkeit	1019	1845	2927	3244
Kaliumbisulfat	5	10	15	20
Specifisches Gewicht . .	1·0354	1·0726	1 1116	1·516
Leitungsfähigkeit	770	1434	2044	2598
Schwefelsäure	1	2 5	5	10
Specifisches Gewicht . .	—	1 0161	1·0331	1·0673
Leitungsfähigkeit	429	1020	1952	3665
Schwefelsäure	45	50	55	60
Specifisches Gewicht . .	1·3508	1·3984	1 4487	1·5019
Leitungsfähigkeit	5766	5055	4280	3487
Schwefelsäure	82	83	84	85
Specifisches Gewicht . .	—	—	—	1·7827
Leitungsfähigkeit	947	924	915	916
Schwefelsäure	92	93	94	95
Specifisches Gewicht . .	—	—	—	1·8368
Leitungsfähigkeit	1030	1024	1001	958
Salzsäure	5	10	15	20
Specifisches Gewicht . .	1·0242	1·0490	1 0744	1 1001
Leitungsfähigkeit	3693	5902	6980	7132
Essigsäure	0·3	1	5	10
Specifisches Gewicht . .	—	—	1·0058	1 0133
Leitungsfähigkeit	2·98	5 48	11·47	14·30
Essigsäure	50	60	70	80
Specifisches Gewicht . .	1·0600	1·0655	1 0685	1 0690
Leitungsfähigkeit	6·93	4 28	2·20	0·76

von F. Kohlrausch und Grotrian bei 18 Grad unter der Annahme, silbers eine 10^8fache sei.
der Elektricität, I. Bd., 1882.)

21·0	25 2	29·4	33 6	37·8	42 0	Lösungsprocente
1·2008	1·2439	1 2880	1·3332	1·3803	1 4298	Temperatur 18^0
4784	5061	5090	4890	4484	3944	
20	25	30	35	40	42	Lösungsprocente
1·2262	1·2823	1·3374	1 3907	1·4421	1·4615	Temperatur 15^0
3062	2543	1892	1409	1088	995	
25	27	—	—	—	—	Lösungsprocente
1 92	1·2110	—	—	—	—	Temperatur 18^0
3054	3207	—	—	—	—	
15	20	25	30	35	40	Lösungsprocente
1 1036	1 1414	1·1807	1·2207	1·2625	1·3056	Temperatur 18^0
5084	6108	6710	6912	6776	6361	
65	70	75	78	80	81	Lösungsprocente
1·5577	1·6146	1·6734	—	1 7320	—	Temperatur 18^0
2722	2016	1421	1158	1032	985	
86	87	88	89	90	91	Lösungsprocente
—	—	—	—	1 8167	—	Temperatur 18^0
926	944	965	986	1005	1022	
96	97	99 4	—	—	—	Lösungsprocente
—	1·8390	1·8354	—	—	—	Temperatur 18^0
885	750	80	—	—	—	
25	30	35	40	—	—	Lösungsprocente
1·1262	1·1524	1 1775	1·2007	—	—	Temperatur 18^0
6767	6200	5535	4826	—	—	
15	20	30	40	45	—	Lösungsprocente
1·0195	1·0257	1·0393	1 0496	1·0550	—	Temperatur 18^0
1·518	15 04	13·12	10·13	8 49	—	
99 7	—	—	—	—	—	Lösungsprocente
1·0485	—	—	—	—	—	Temperatur 18^0
0·0004	—	—	—	—	—	

Zusammenstellung der bestleitenden Flüssigkeiten

(m deutet das Maximum, die kleine

Untersuchte Flüssigkeit	Chemische Formel	Procente	Specifisches Gewicht	10^8fache Leitungsfähigkeit bei 18°, Quecksilber gleich Eins
Salpetersäure	HNO_3	29·7	1·185	7330 m
Salzsäure	HCl	18·3	1·092	7174 m
Bromwasserstoffe . .	HBr	36	1·31	7170 m
Schwefelsäure	H_2SO_4	30·4	1·224	6914 m
Fluorwasserstoffsäure .	HF	—	—	6100 m?
Kaliumoxydhydrat . .	KOH	28 1	1·274	5095 m
Jodammonium . . .	NH_4J	75·0	—	74000
Jodkalium	KJ	58·5	1·70	4100
Chlorammonium . . .	NH_4Cl	27	1·078	3980
Bromkalium	KBr_4	38·5	1·347	3480
Kaliumbisulfat	KHSO	31	1·24	3440
Ammoniumnitrat . . .	NH_4NO_3	5·5	1·25	3430 m?
Natriumoxydhydrat . .	NaOH	15·2	1·172	3276 m
Chlorkalium	KCl	25·8	1·175	3210
Jodnatrium	NaJ	64	2·0	2700
Fluorkalium	KF	33·7	1·308	2427 m
Ammoniumsulfat . . .	$(NH_4)_2SO_4$	43	1·25	2350 m?
Kaliumcarbonat . . .	K_2CO_3	34·3	1·350	2117 m
Silbernitrat	$AgNO_3$	68	2·18	2100
Chlornatrium	NaCl	26·4	1·201	2016
Phosphorsäure . . .	H_3PO_4	46·8	1·307	1962 m
Chlorstrontium . . .	$SrCl_2$	34·4	1·38	1770

nach Untersuchungen von F. Kohlrausch.
Ziffer die Unsicherheit der Stelle an.)

Untersuchte Flüssigkeit	Chemische Formel	Procente	Specifisches Gewicht	10^8 fache Leitungsfähigkeit bei 18°, Quecksilber gleich Eins
Chlorcalcium	$Ca\,Cl_2$	24·0	1·220	1669 m
Natriumnitrat	$Na\,N\,O_3$	40	1·32	1600 m
Kaliumnitrat	$K\,N\,O_3$	22·5	1·151	1550
Chlorlithium	$Li\,Cl$	21·2	1·122	1533
Chlorbarium	$Ba\,Cl_2$	26·1	1·284	1490
Chlormagnesium . . .	$Mg\,Cl_2$	19·4	1·170	1312 m
Magnesiumnitrat . . .	$Mg\,N_2\,O_6$	28	1·25	1200 m
Kupfernitrat	$Cu\,N_2\,O_6$	—	—	1100 m
Calciumnitrat	$Ca\,N_2\,O_6$	26·7	1·238	983 m
Chlorkupfer	$Cu\,Cl_2$	—	—	900
Natriumsulfat	$Na_2\,S\,O_4$	16·8	1·162	880
Natriumcarbonat . . .	$Na_2\,C\,O_3$	17·5	1·187	812
Kaliumsulfat	$K_2\,S\,O_4$	10·0	1·081	806
Bariumoxydhydrat . .	$Ba\,O_2\,H_2$	3·1	1·032	540
Magnesiumsulfat . . .	$Mg\,S\,O_4$	17·3	1·187	456 m
Zinksulfat	$Zn\,S\,O_4$	23·7	1·285	452 m
Kupfersulfat	$Cu\,S\,O_4$	18·1	1·208	440
Kaliumchlorat	$K\,Cl\,O_3$	6·3	1·040	432
Bariumnitrat	$Ba\,N_2\,O_6$	8·4	1·071	330
Alaun	$K\,Al_2\,S\,O_4$	6·4	1·061	300
Ammoniak	$N\,H_3$	5·3	0·977	10·4 m

Namens-Verzeichniss.

Adams 104.
Ampère 154, 161, 214.
Arago 245.
Avenarius 253.
Armstrong 28.
Barlow 166.
Becquerel 262.
Beetz 264.
Bell 104.
Bennett 63.
Boltzmann 32.
Bonelli 212.
Boscha 90, 123.
Bréguet 231.
Brown 69.
Carlisle 144.
Clausius 143, 253.
Cohn 247.
Comacho 201.
Cunäus 36.
Coulomb 7, 186, 191.
Davy 137, 147, 173.
De la Rive 69, 81, 150.
Dub 193, 212.
Dumoncel 192, 201, 203,
Edison 105.
Elias 183.
Exner 70, 86, 90, 151.
Faraday 82, 142, 144, 227, 235.
Fechner 108.
Feddersen 50.
Feilitsch 202.
Ferini 217.
Fizeau 50.
Frankenstein 183.
Franklin 38.
Frick 184.
Fromme 183.
Foucauld 245.
Galvani 76.
Gaugain 223.
Geissler 36.
Gilbert 1.
Gramme 170, 226.
Grotrian 266.
Grotthuss 142.
Grove 138.
Häcker 190.
Hefner-Alteneck 169.
Helmholtz 68, 223.
Henry 241.
Herwig 138.
Hittorf 153.
Holtz 55, 59, 189.
Hughes 105.
Jacobi 151, 193.
Jamin 184, 189.
Joule 128, 174, 204.
Kirchhoff 50, 119.
Kleist 36.
Kohlrausch 62, 146, 253, 266, 270.
Křižik 213
Kundt 58.
Lane 42.
Lenz 193, 229.
Le Roux 247.
Lichtenberg 45.
Lütge 105.
Magnus 240.
Matthiessen 263, 264.
Maxwell 13.
Müller 174, 193, 199.
Muravka 265.
Musschenbrock 37.
Ohm 109.
Pacinotti 170, 226.
Peltier 257.
Pfaff 69.
Pfaundler 92, 148.
Picard 36.
Planté 39.
Plücker 36.
Poggendorff 60.
Reis 259.
Reitlinger 45.
Ries 43, 44, 46.
Romershausen 204, 212.
Ruhmkorff 237.
Ruth 180.
Schönbein 82, 189.
Seebeck 247.
Siemens 105.
Stefan 231, 250.
Sturgeon 192, 239.
Thomson 69, 254.
Töpler 53.
Volta 51, 53, 64, 67.
Wächter 45.
Waltenhofen 177.
Weber 163.
Van Wetteren 190.
Wertheim 258.
Wheatstone 48, 122.
Wiedemann 57, 62, 82, 106, 141.
Wilcke 51.
Wild 138.
Winter 23.
Wüllner 33.

Index.

Ablenkung der Magnetnadel 214
Absorption der Elektricität 41.
Abstossung, elektrische 7, 161.
— zweier Ströme 158.
— magnetische 258.
Accumulatoren 22, 29.
— ihre Bindungs-, Verstärkungszahl und Ladungsgrenze 30.
Aequivalenz, elektrische 150.
Aggregatzustand, Aenderung durch den Strom 161.
— Einfluss auf die Leitungsfähigkeit 103.
— Einfluss auf Erregung der thermo-elektrischen Ströme 246.
— Einfluss auf die Magnetisirbarkeit 179.
Amalgam von Kienmayer 3.
Anion 142.
Anker der Magnete 188.
Anode 142.
Anordnung der Elektricität auf der Oberfläche isolirter Leiter 13.
Ansammlungs-Apparate, siehe Accumulatoren
Anziehung, elektrische 3.
Anziehung zweier Ströme 158.
— magnetische s. S. 7.
Aperiodicität 244.
Arbeit 9, 11.
Armatur der Magnete 188.
Arten der Elektricität 2.
Astasie 216.
Ausströmen der Elektricität 35.
Bandspirale 241.
Batterie von Condensatoren 39.
— von Elementen 116.
Bindungszahl der Condensatoren 31.
Brücke von Wheatstone 123.
Capacität 15, 29.
Chemische Energie als Mass der elektromot. Kraft 71, 92, 95.
Chemische Theorie der galvanischen Elemente 81, 92.
— des Volta'schen Fundamentalversuches 69.
Chemische Vorgänge im Volta-Elemente 86, 91.
Chemische Wirkungen der Elektricitäts-Entladungen 46, 141.
Coërcitivkraft 164
Collector 29, 63.

Condensator 63.
Condensatoren 22, 26, 36.
Condensatorbatterie 39.
Contacttheorie des Fundamentalversuches 67.
— der galvanischen Elemente 80.
Convection 35.
Curven, magnetische 186, 229.
Dämpfung der Magnetschwingungen 244.
Dampf-Elektrisirmaschine 28.
Dauer des elektrischen Funkens 48.
— der Ladungszeit eines Leiters 125.
Diamagnetismus 259.
Dichte, elektrische 8.
— und Potential, Beziehungen zueinander 14.
Dielektricitäts-Constante 32.
Dielektrische Körper 32.
— Polarisation 33.
Duplicator 62.
Dynamometer 163.
Einheit der Elektricitätsmenge 6.
— der Stromstärke XV.
— chemische, nach Jacobi XV.
Eisen-Passivität 152.
Elektricität, Anordnung auf der Oberfläche isolirter Leiter 13.
— Ausströmen durch Spitzen 35.
— Dichte 8, 14.
— chemische Wirkungen 47, 141.
— Entladung 15.
— Erzeugung 1, 23, 28, 51, 54, 72, 80, 224, 246.
— Fortpflanzung 15, 48.
— Geschwindigkeit 48.
— Isolatoren 18.
Elektricität, Leiter 18.
— Lichtwirkungen 45.
— magnetische Wirkungen 47.
— Mittheilung 2.
— negative und positive 3.
— mechanische Wirkungen 44.
— Physiologische Wirkungen 37, 76.
— Sitz der Elektricität 13.
— Wärmewirkungen 45, 127.
Elektricitätsmenge 5, 132.
Elektrischer Funke 34, 139.
— Strom 16.
— Wind 35.
Elektrisirmaschine 23.
Elektroden 142.
Elektrolyse 141.
Elektrolytisches Gesetz 145.
— scheinbare Abweichungen 151.
Elektromagnet 177, 192.
Elektromotorische Kraft 15.
— Erregung derselben 70.
— Proportionalität zur chemischen Energie 85.
Elektrophor 50
Elektrophormaschine 54.
Elektroskop 63.
Element, galvanisches 83.
— thermo-elektrisches 248.
Endosmose, elektrische 141.
Energie der Entladung 40.
Entladung 15.
— allmähliche d. Condensatoren 31.
— convective 35.
— der Lane'schen Massflasche 49.
— disruptive 34, 40.
Entladungsfunke 34.
— Wirkungen derselben 34, 43.

Erdmagnetismus 157.
Erkalten durch den elektrischen Strom 257.
Erwärmung durch die Entladung 45.
— der Leiter durch den Strom 127.
Extrastrom 234
Farad XV.
Feld, elektrisches 9.
— magnetisches 230.
Fernwirkung der Elektricität 7.
Flasche nach Kleist 36.
— nach Lane, Massflasche 42.
Flaschenrückstand 40.
Fluidum, elektrisches 4.
Folgepunkte, magnetische 187.
Fortpflanzung der Elektricität 17, 48
Fundamentalversuch n. Volta 64.
— Theorien desselben 67.
Funke elektrischer 139.
Galvanismus, Entdeckung des 76.
Galvanoplastik 150.
Gaselement 151.
Geissler'sche Röhren 36.
Geschwindigkeit der Elektricität 48.
Glockenmagnet 204.
Glühen durch den galvanischen Strom 132.
Induction, magnet. 223.
— galv. 231.
Influenz, elektrische 19.
— magnetische 185, 188, 225.
Influenz-Elektrisirmaschine 54.
Intensität der elektrischen Anziehung und Abstossung des elektrischen Stromes 162.
Jonen 142.
— und Wanderung derselben 153.
Isolatoren 18.
Kathode 142.
Kation 142.
Kette, galvanische 116.
Kohlenlicht 136.
Kraft, Einheit derselben 5
— elektromotorische 16.
— der Elektromagnete 192
Kraftlinien 12, 229.
Ladung, Sitz derselben 13.
— Anordnung derselben 13.
Ladungs-Apparat 40
Ladungsgrenze 32.
Ladungszeit der Leiter 124.
Lane's Massflasche 42.
Länge, reducirte 100.
Leiter 18.
Leitungsfähigkeit 99.
Leitungsvermögen von Legirungen 99.
— von pulverförmigen und porösen Stoffen 105.
— der Salze 105.
— der Säuren 106.
— des Wassers 106.
Leitung des galvanischen Stromes 97.
Leitungswiderstand, specifischer 100.
— Veränderung desselben 99, 101.
Leydener Flasche 38.
Lichtbogen, galvanischer 136.
Lichtenberg'sche Figuren 44.
Mass der Ladung der Condensatoren 42.

Mass der Stromstärke XV.
— des Widerstandes XV.
— der elektromotorischen Kraft XV.
Massflasche 42
Magnete, Herstellung derselben 182.
— Tragkraft derselben 190.
Magnetische Curven 186, 229.
— Influenz 185.
— Pole 187.
Magnetisches Magazin 188.
— Moment 175.
— Moment eines Kreisstromes 205.
Magnetismus, Vertheilung desselben 185.
— Abhängigkeit desselben 174.
— freier 185.
Magnetisiren durch die Entladung 47.
Magnetnadeln 191.
Mechanische Wirkungen des elektrischen Funkens 44.
— Wirkungen des elektrischen Stromes 153, 154.
Mittheilung des elektrischen Zustandes 2.
Moment, magnetisches 175, 205.
Nadeln, magnetische 191.
Nichtleiter 18.
Niveauflächen 8.
Nordpol 191.
Ohm'sches Gesetz 109.
Pendel, elektrisches 1.
Perpetuum mobile 81.
Physiologische Wirkungen der Elektricität 37, 76.
Polarisation 89, 151.
— dielektrische 33, 56.
— der Metalle 82.
Pole, magnetische, deren Lage 187.
Potential 9.
Potential, Beziehung zur Dichte 14.
Potentialdifferenz 16, 70.
Potentialniveau 8.
Quellen der Elektricität 1, 23, 28, 51, 72, 80, 224, 246, 259.
Reibungs-Elektricität 1.
Remanenter Magnetismus 179.
Residuum 40.
Rotation des Stromes um einen Magnet 172.
— eines Stromes um einen zweiten Strom 173.
Rückstand, elektrischer 40.
Säulen 116.
Schaltung von Elementen 116.
Schlagweite 40.
Secundäre Ströme 240
Sinusbussole 221.
Solenoidanziehung 207.
Spec. Magnetismus 180.
Spannung, elektrische 13.
Spannungsreihe 66, 249.
Spannungsdifferenz 66.
Specifische Leitungsfähigkeit 98.
Spitzenwirkung 21.
Stahlmagnete 182.
Staubfiguren Lichtenberg's 45.
Streichen der Magnete 183.
Strom, Entstehen desselben 16.
— Leitung desselben 97.
— Wirkungen desselben 127.
Stromstärke, Gleichheit derselben im Stromkreise 107.
— Ohm'sches Gesetz über dieselbe 109.

Stromverzweigung 118
Tangentenbussole 217.
Temperatur, Einfluss derselben auf den Widerstand 100.
Theorie, chemische der galvanischen Elemente 81.
— siehe Contacttheorie.
Thermo-Elektricität 246
Thermoströme in einem Metalle 246.
— zwischen Flüssigkeiten 256.
Thierische Elektricität 259.
Töne beim Magnetisiren 259.
Tragkraft der Magnete 187.
Ueberführung von Flüssigkeiten von der positiven zur negativen Elektrode 141.
Unterbrechungsfunke 238.
Verbindungsarten von Condensatoren 38.
Verbindungsarten von galvanischen Elementen 116.
Vertheilung der Elektricität 19.
Vertheilung des Magnetismus 184.
Verzögerung der Entladung 46.
Volta's Fundamentalversuch 64.
— Erklärung 67.
Volta-Bogen 136.
Voltameter 145.
Wanderung der Jonen 153.
Wärme-Entwicklung durch die Elektricität 45, 47.
Wasserzersetzung durch die Entladung 47.
— durch den galvanischen Strom 142.
Wesen der Elektricität 4.
Widerstand 100.
Wirkungen der elektrischen Entladung 44.
— des Stromes auf den Leiter 127.
— in die Ferne 154.
Zeichen des Potentiales 12.
Zersetzung durch die Elektricität 46.

A. HARTLEBEN'S VERLAG IN WIEN, PEST UND LEIPZIG.

DIE ELEKTRICITÄT
im Dienste der Menschheit.

Eine populäre Darstellung

der magnetischen und elektrischen Naturkräfte

und deren praktischen Anwendungen.

Nach dem gegenwärtigen Standpunkte der Wissenschaft

bearbeitet von

Dr. Alfred Ritter von Urbanitzky.

Mit circa 600 Illustrationen.

18—20 Lieferungen à 3 Bogen. Preis jeder Lieferung 30 Kr. = 60 Pf. = 80 Cts. = 36 Kop.

Der Inhalt des vollständigen Werkes wird, kurz zusammengefasst, folgender sein: In wenigen Zügen ein gedrängter Ueberblick über den Gang, welchen die Erforschung der Elektricität und des Magnetismus genommen hat; hierauf folgt die Erklärung der magnetischen Grunderscheinungen, die Erzeugung und Wirkung der Magnete und daran reiht sich die Besprechung der Elektricitäts-Erzeugung durch Reibung. Die wichtigsten Erscheinungen und Gesetze der Reibungs-Elektricität, der galvanischen Elektricität und der Wirkungen des elektrischen Stromes bilden die nächsten Abschnitte und bringen die Grundlehren des Magnetismus und der Elektricität zum Abschlusse. Hiermit sind jene Grundlagen gegeben, welche zum Verständnisse der praktischen Anwendung unbedingt gefordert werden müssen. Der zweite Theil umfasst dann die praktischen Anwendungen, und zwar zunächst die Elektricitäts-Erzeuger oder Generatoren als Batterien und Maschinen. Daran reihen sich die verschiedenen Verwendungen des elektrischen Stromes zur Beleuchtung, in der Galvanoplastik, zur Kraftübertragung, in der Telegraphie und Telephonie u. s. w. Auf diese Art soll auch dem Laien Gelegenheit geboten werden, sich mit den Errungenschaften der Elektrotechnik in ausreichender Weise bekannt zu machen.

Subscriptions-Bedingungen.

Das Werk: „Die Elektricität im Dienste der Menschheit" erscheint in 18 bis 20 Lieferungen à 3 Bogen Text, mit circa 600 Illustrationen. Alles tadellos und elegant ausgestattet und in illustrirtem Umschlage geheftet. Monatlich werden 2 Lieferungen ausgegeben. Preis jeder Lieferung 30 Kr. = 60 Pf. = 80 Cts. = 36 Kop.

A. HARTLEBEN'S VERLAG IN WIEN, PEST UND LEIPZIG.

A. HARTLEBEN'S VERLAG IN WIEN, PEST UND LEIPZIG.

ELEKTRISCHE ZEITFRAGEN.

In zwanglosen Bänden.

Die Elektricität ist aus dem Laboratorium des Forschers, der sie entdeckt und erzogen hat, in das Leben hinausgetreten und wächst in den Händen der Techniker zu einer neuen Weltmacht heran. Mit ihr reift eine neue Gestaltung der gesammten menschlichen Verhältnisse, welche durch die Unterwerfung der Natur und die dadurch bewirkte Aenderung der wirthschaftlichen Lebensbedingungen hervorgebracht wird. Bei diesem Siege über die Natur ist aber die Elektricität in vorderster Reihe betheiligt, und ihre Entwicklung muss daher auch die Aufmerksamkeit weiterer als nur technischer Kreise auf sich ziehen. Der Volkswirth und mit ihm der Politiker haben in der Elektricität einen neuen socialen Factor zu erblicken, dessen enorme Bedeutung dem kundigen Auge schon heute hervortritt. Damit ist aber die **Elektricität eine Zeitfrage** geworden. Bis heute hat nun die sociale Seite der Elektricität neben der technischen nur sehr kümmerliche Beachtung gefunden, und ist nur gelegentlich in den technischen Fachschriften behandelt worden, welche jedoch dem nicht technischen Publicum unzugänglich sind. Da es nun aber zu einem grossen Theile Nichttechniker sind, welche vor Allem die sociale Bedeutung der Elektricität interessirt, muss es diesen willkommen sein, eine besondere Darstellung der hierhergehörigen Fragen, der **„Elektrischen Zeitfragen"**, zu finden.

Diesem Bedürfniss zu genügen, ist das vorliegende Unternehmen bestimmt, welches der Erörterung und Darstellung aller mit der Elektricität in Verbindung stehenden ökonomischen, politischen und juristischen Fragen dienen wird, wobei als ein Grundsatz festgehalten werden soll, dass technische und physikalische Darstellungen so weit als möglich ausgeschlossen bleiben, wenn sie aber nich vermieden werden können, in einer dem gebildeten Publicum ver ständlichen Darstellung gegeben werden.

I.

Die volkswirthschaftl. Bedeutung der Elektricität und das Elektromonopol.

Von ARTHUR WILKE.

8 Bogen. Octav. Geh. 80 Kr. = 1 M. 50 Pf. = 2 Fr. = 90 Kop.

Inhalt: Vorwort. — I. Die Bedeutung der Naturwissenschaft für die Volkswirthschaft. — II. Die Kraftquellen. — III. Die Bewirthschaftung der Kraftquellen mittelst Elektricität. — IV. Der Handel mit Elektricität. — V. Das Elektromonopol. — VI. Zur Durchführung des Elektromonopols.

A. HARTLEBEN'S VERLAG IN WIEN, PEST UND LEIPZIG.

A. HARTLEBEN'S VERLAG IN WIEN, PEST UND LEIPZIG.

Die

Wunder der Physik und Chemie

für Leser aller Stände

gemeinfasslich bearbeitet von

FERDINAND SIEGMUND.

Mit 400 Illustrationen.

---

60 Bogen. Gross-Octav. Eleg. geh. 6 fl. = 10 M. 80 Pf. = 14 Fr. 50 Cts. = 6 Rub. 48 Kop.
In Original-Prachtband 7 fl. 20 kr. = 13 M. = 17 Fr. 35 Cts. = 7 Rub. 80 Kop.
Auch in 20 Lieferungen à 30 Kr. = 60 Pf. = 80 Cts. = 48 Kop.

Das vorliegende Werk ist nicht bestimmt, als physikalisches oder chemisches Handbuch dem Fachmanne zu dienen, es verfolgt einen anderen Zweck, nämlich dem Bedürfniss der allgemeinen Bildung in diesen beiden Wissenschaften, welche auf Künste und Gewerbe, auf das tägliche Leben überhaupt einen so grossen Einfluss ausüben, zu dienen. Verfasser vertritt den Standpunkt, den riesigen Stoff in eine knappe Form zu bringen, und Alles, was nur für den exacten Fachmann specielles Interesse hat, sorgfältig auszuscheiden. Er vermied es mit Geschick, die Naturgesetze überall mathematisch zu entwickeln, wie dies z. B. in physikalischen Lehrbüchern gebräuchlich ist, weil viele der Leser, die keinen höheren mathematischen Unterricht genossen haben, die oft complicirten Folgerungen nicht verstanden hätten. Ein Schwergewicht ist vielmehr darauf gelegt, die physikalischen und chemischen Gesetze eingehend zu erörtern und sie dem Verständnisse des Laien näher zu bringen. Wo es nothwendig erscheint, sind die Apparate beschrieben und die Experimente erklärt; doch ist auch hier der Grundsatz festgehalten, dass ein Uebermass nur schaden und den Leser verwirren kann, ohne ihm einen wesentlichen Nutzen zu bringen. In dem Abschnitte über Chemie ist Verfasser darauf bedacht, den Leser mit dem Standpunkt der modernen Chemie, einer Wissenschaft, die einen ungeahnten Aufschwung nimmt, bekannt zu machen. Wir erwähnen noch, dass die Verlagshandlung für zahlreiche treffliche Illustrationen gesorgt hat, wodurch das Verständniss des Ganzen wesentlich erleichtert wird, und dass die Ausstattung des Buches überhaupt eine glänzende ist.

A. HARTLEBEN'S VERLAG IN WIEN, PEST UND LEIPZIG.

BSB Bayerische StaatsBibliothek

MDZ Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Hauck, Wilhelm P.

Die Grundlehren der Elektricität mit besonderer Rücksicht auf ihre Anwendungen in der Praxis

Wien [u.a.] 1883

Techn. 2003 h-1
urn:nbn:de:bvb:12-bsb11889709-3